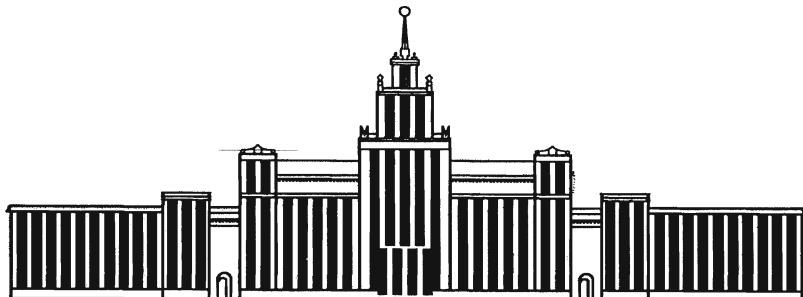

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

621.753(07)
М594

Ю.Г. Миков

**РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Учебное пособие для самостоятельной работы

Челябинск
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Филиал ЮУрГУ в г. Миассе
Машиностроительный факультет
Кафедра “Технология производства машин”

621.753(07)
М594

Ю.Г. Миков

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Учебное пособие для самостоятельной работы

*Допущено Учебно-методическим объединением
вузов по образованию в области автоматизированно-
го машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Технология машино-
строения» направления подготовки «Конструкторско-
технологическое обеспечение машиностроительных
производств»*

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2010

УДК 621.753(075.8)
M594

*Одобрено
учебно-методической комиссией машиностроительного факультета
филиала ЮУрГУ в г. Миассе*

*Рецензенты:
Л.М. Звонарева, С.Н. Лесников*

Миков, Ю.Г.

M594 Размерный анализ технологических процессов механической обработки: учебное пособие для самостоятельной работы / Ю.Г. Миков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 96 с.

ISBN 978-5-696-04154-4

В пособии рассмотрены методы выполнения размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей машин, позволяющего минимизировать припуски на обработку и обеспечивать необходимое качество. Особое внимание уделено построению размерных схем технологических процессов. Рассматривается методика выполнения размерного анализа с использованием ЭВМ в диалоговом режиме. Пособие предназначено для самостоятельного изучения данных вопросов студентами всех форм обучения специальности 151001 и может быть использовано при проведении практических работ, в курсовом и дипломном проектировании.

УДК 621.753(075.8)

ISBN 978-5-696-04154-4

© Издательский центр ЮУрГУ, 2010.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании технологического процесса изготовления деталей одним из сложных является вопрос предвидения и моделирования размерных и точностных связей, возникающих в ходе процесса на различных последовательных операциях. Для того, чтобы заготовка превратилась в качественную готовую деталь, она должна пройти многие операции, на которых меняются её размеры и точностные характеристики. Проектант должен смоделировать технологический процесс на бумаге, и эта модель в последствии осуществляется в действующем производстве. Моделирование технологических процессов должно базироваться на размерном анализе проектной технологии, в основе которого лежит расчёт размерных цепей. Без размерного анализа невозможно обоснованно назначить промежуточные операционные размеры, размеры заготовки, а также технические требования по допустимым отклонениям расположения геометрических элементов обрабатываемых деталей.

Размерный анализ технологических процессов является довольно трудоёмким. Использование ЭВМ позволяет повысить скорость расчётов, уменьшает количество ошибок, даёт возможность выполнить расчёты по нескольким вариантам технологического процесса и выбрать наиболее эффективный.

В данном пособии рассматриваются вопросы проведения размерного анализа технологических процессов, в том числе с использованием ЭВМ. В основу расчётов положена методика, разработанная в ЧПИ под руководством профессора В.В.Матвеева [1].

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

1.1. Этапы проектирования технологических процессов

Выбор структуры технологического процесса, назначение необходимых операций и определение последовательности их выполнения при проектных разработках – всё это сложные технологические задачи.

На структуру технологического процесса изготовления деталей влияют следующие факторы:

- конструкция детали и требуемая точность изготовления;
- вид и характеристика заготовки;
- организационно-технические факторы (программа, сроки освоения);
- факторы, связанные с технологией цехов-смежников (термических, гальванических покрытий и др.).

Кроме того, при выборе структуры технологического процесса необходимо обеспечить минимальные затраты средств, сокращение расходов материалов, предусмотреть возможность автоматизации. Комплексное проектирование технологических процессов требует выполнения весьма обширных логических и расчётных проработок.

Изучение практики проектирования технологических процессов позволяет разбить все проектные работы на 6 основных этапов.

1. Изучение чертежа детали и подготовки исходных данных для проектирования техпроцесса.

2. Предварительное проектирование принципиальных схем и вариантов обработки.

3. Логическая оценка вариантов и отбор наиболее приемлемых.

4. Размерный анализ намечаемых вариантов и их уточнение.

5. Оценка вариантов технологических процессов по критериям и выбор оптимального.

6. Оформление окончательно выбранного варианта технологического процесса.

На первом этапе, изучив чертёж детали и учитывая организационно-технические возможности производства, выбирают вид и метод получения заготовки. Кроме того, по требуемой точности размеров, геометрической формы, взаимного расположения и допустимой шероховатости назначают методы обработки и количество проходов по каждой поверхности и намечают технологические решения по обеспечению технических требований чертежа.

На втором этапе определяют маршрут изготовления детали и проектируют принципиальные схемы выполнения технологической операции. В этих схемах, начиная с заготовки, вычерчивают эскизы обработки с указанием базовых и обрабатываемых поверхностей, наносят размерные линии, определяющие связи выполняемых на операции поверхностей, записывают технические требования и применяемое оборудование, указывают точность получаемых размеров и шероховатость поверхностей, назначаемые в зависимости от вида обработки и оборудования, а также устанавливают знаки и величину предельных отклонений.

К выполнению четвёртого этапа – размерному анализу вариантов технологического процесса – можно приступить только после первых трёх этапов.

1.2. Задачи размерного анализа

Размерным анализом технологических процессов изготовления деталей машин называют специальные способы выявления и фиксации связей размерных параметров детали при её изготовлении, а также методы расчёта этих параметров путём решения размерных цепей.

Размерный анализ позволяет уточнить намечаемый вариант технологического процесса и решить следующие задачи:

– установить размеры заготовки с минимально необходимыми припусками, что обеспечивает сокращение расхода материала;

– спроектировать технологический процесс с минимально необходимым количеством операций и переходов;

– установить операционные размеры на всех операциях,

– создать процесс, при внедрении которого потребуется минимальная корректировка или не потребуется совсем;

– спроектировать технологический процесс, гарантирующий изготовление качественных деталей и отсутствие брака при их производстве.

Без выполнения всестороннего размерного анализа решение этих задач невозможно.

При размерном анализе технологических процессов исследуются операционные размерные цепи, звенями которых являются размеры или иные точностные параметры, принадлежащие детали на разных стадиях её изготовления.

То есть операционные размерные цепи представляют собой совокупность размеров (или других точностных параметров), образующих замкнутый контур и определяющих связь между операционными размерами (или другими параметрами) на различных стадиях обработки деталей.

Другими параметрами могут быть: глубины слоёв насыщения (цементация, азотирование), толщина покрытий (оцинкование, хромирование) и любые другие величины, имеющие векторное выражение (биение, неперпендикулярность, непараллельность, изогнутость и др.).

Параметры детали, указанные на чертеже, операционные размеры и технические требования находятся в сложной размерной зависимости. Любой из этих параметров может выступать как замыкающее или составляющее звено.

О каждом звене операционной цепи могут быть известны лишь некоторые частичные данные (например: известно наименьшее значение замыкающего звена, но не известны его колебания или известен допуск составляющего звена, но не известны его номинальный размер и отклонения). Поэтому в операционных размерных цепях чаще всего решаются задачи смешанного типа, то есть такие, в которых при некоторых известных данных о замыкающем и составляющих звеньях определяются недостающие данные всех звеньев операционной размерной цепи.

1.3. Работы при выполнении размерного анализа

Для выполнения полного размерного анализа осуществляется ряд работ:

- назначение обоснованных допусков на выполняемые размеры на всех операциях и переходах,
- назначение необходимого и достаточного количества технических требований на операциях и установление допустимых величин погрешностей,
- определение минимально необходимых припусков на обработку по каждой операции и каждому переходу,
- построение специальных размерных схем намечаемых вариантов технологического процесса,
- выявление и составление размерных цепей,
- проверка расчётым методом возможности выполнения чертёжных размеров и технических требований по намечаемой технологии,
- определение номинальных операционных размеров путём решения размерных цепей,
- определение средних и максимальных припусков.

2. ТОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

2.1. Точностные параметры детали и методы их обеспечения

Детали и их отдельные поверхности характеризуются следующими параметрами:

- точность размеров отдельных поверхностей или размеров между поверхностями,
- точность взаимного расположения поверхностей,
- точность формы поверхностей,
- шероховатость поверхностей.

Обеспечить точностные параметры детали можно, выполнив определённый комплекс технологических операций. Оценивать точность той или иной операции принято по величинам погрешностей, возникающих на операции.

Следует иметь в виду, что при выполнении многих технологических операций улучшение одних характеристик обрабатываемой детали может сопровождаться ухудшением других. Так, имеются операции, которые, повышая чистоту поверхности, ухудшают её форму, или, повышая точность размеров отдельных поверхностей приводят к снижению точности их взаимного расположения.

Принято рассматривать два метода обеспечения заданной точности на операциях:

- метод обработки деталей на настроенных станках (метод автоматического обеспечения точности),
- метод пробных проходов.

При проектировании технологических операций обработки деталей машин в большинстве случаев не удается расчётыным методом определить ожидаемую точность размеров, формы, расположения и шероховатости поверхностей. В связи с этим используют таблицы точности, которые содержат ориентировочные данные для различных методов обработки.

В приложении 1 приведены статистические данные по точности размеров и шероховатости поверхности для различных методов обработки.

2.2. Назначение технических требований в чертежах и операционных картах технологических процессов

В технологических размерных расчётах, в целях упрощения, погрешности формы и расположения называют пространственными отклонениями. В зависимости от принятых методов контроля их можно разделить на две группы: пространственные отклонения, которые входят в допуск на размер (Δ_S), и простран-

ственное отклонения, которые при принятом способе измерения размера имеют самостоятельное значение (Δ_S).

Например, если диаметр вала измеряется скобой, то искривление оси вала при таком способе контроля выступает в качестве самостоятельного пространственного отклонения. Если же валы будут контролироваться по диаметру предельными контрольными втулками, длина которых равна длине вала, то пространственное отклонение (кривизна) не будет иметь самостоятельного значения, а войдёт в допуск на размер.

Технолог при проектировании операции назначает способы не только её выполнения, но и контроля, поэтому всегда имеется возможность определить, войдёт ли пространственное отклонение в допуск на размер, или будет иметь самостоятельное значение.

Какое же количество технических требований по расположению поверхностей следует задать в операции? В любой операции поверхность должна занимать определённое расположение по отношению к базовым поверхностям, поэтому количество задаваемых в операции технических требований не должно оказаться излишним или недостаточным, так как и тот, и другой случай ведут к неопределенности положения поверхности. В работах В.В. Матвеева и др. [1] приведены правила назначения необходимого количества технических требований в зависимости от конкретных условий. В целом же можно отметить, что:

- для ориентации плоской поверхности торца или оси цилиндрической поверхности детали тела вращения необходимо и достаточно задать одно техническое требование по допустимой неперпендикулярности, непараллельности, несоподчиненности;
- для ориентации оси отверстия корпусной детали, так и для ориентации одной плоскости корпусной детали необходимо и достаточно задать два технических требования по допустимой неперпендикулярности в двух направлениях, непараллельности относительно двух баз или их комбинации.

2.3. Назначение технологических допусков на размеры

Установление целесообразных допусков на размеры в технологических операциях имеет важное значение и существенное влияние на качество технологического процесса и себестоимость изготовления детали.

Обычно многие чертёжные размеры и технические требования выполняются в несколько проходов на разных операциях, а иногда вообще не выполняются, а должны быть получены путём выполнения других взаимосвязанных с ними размеров. Поэтому, назначая допуски на операционные размеры в соответствии с возможностями оборудования по таблицам статистической точности (прил. 1) необходимо проверить, обеспечит ли предлагаемый вариант обработки точность и технические требования чертежа.

Выбирая допуски по таблицам статистической точности, следует иметь в виду, что они составлены на основании опытных данных операций, когда установочные

базы совпадали с измерительными, и последние имели минимальные пространственные погрешности.

Наличие погрешности от несовпадения установочных и измерительных баз делает любую операцию менее точной. Поэтому, если в технологической операции установочные и измерительные базы не совмещены, и когда последние имеют значительные пространственные отклонения, допуск на выполнение операционного размера должен быть увеличен на величину этих погрешностей.

При назначении допусков на операционные размеры необходимо руководствоваться следующими правилами:

– операционный допуск ($TA_{оп}$) на размер замкнутых поверхностей (цилиндров) и на размеры между плоскими поверхностями, обработанными с одной установки, выбирается в соответствии с таблицами статистической точности для данного вида работ ($TA_{оп} = \omega A_{ст}$);

– при назначении операционного допуска ($TA_{оп}$) на размер между обработанной и измерительной базовой поверхностью для случая обработки на настроенном станке в состав допуска следует включить пространственные отклонения измерительной базовой поверхности $C\Delta_{\Sigma}$, а также погрешность от несовпадения установочной и измерительной базы ϵ_b ;

– при назначении операционного допуска ($TA_{оп}$) на размер между обработанной и измерительной базовой поверхностью для случая обработки методом пробных проходов в состав допуска следует включать пространственные отклонения измерительной базовой поверхности ($C\Delta_{\Sigma}$). Погрешность от несовпадения установочной и измерительной баз (ϵ_b) в состав не включается $TA_{оп} = \omega A_{ст} + C\Delta_{\Sigma}$.

2.4. Припуски на механическую обработку

Слой металла, подлежащий удалению с поверхности заготовки в процессе обработки, называется припуском (Z). Поскольку обработка производится обычно в несколько операций, то на каждую из них предусматривается промежуточный операционный припуск (Z^i).

При проектировании технологического процесса необходимо правильно выбрать величину припуска – в ином случае могут либо статься необработанные участки на поверхности детали (черноты), либо припуски окажутся излишними.

На всех стадиях обработки взаимное расположение поверхностей и размеры деталей имеют погрешности. В связи с этим величина припуска, снимаемая с любой из поверхностей, будет переменной для каждой детали. Её колебание зависит от погрешностей размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали до и после обработки на данной операции.

Важно при проектировании правильно выбрать минимально необходимый припуск (Z_{min}). Для случая, когда надо удалить только следы предшествующей обработки, можно принимать:

$$Z_{min} = R_z,$$

где R_z – высота неровностей профиля, образовавшегося на предшествующей операции (прил. 2).

Если необходимо удалить не только шероховатость, но и дефектный слой поверхности, тогда

$$Z_{\min} = R_z + h,$$

где h – глубина дефектного слоя, образовавшегося на предшествующей операции (прил. 2).

Удаление дефектного слоя обязательно только в двух случаях: при черновой обработке отливок и поковок, когда для облегчения желательно обрабатывать «под корку» и при окончательной обработке деталей, когда качество поверхностного слоя оговорено требованиями чертежа. В остальном же при расчёте величины минимального припуска учитывать дефектный слой не следует.

Минимально необходимый припуск должен быть снят в той «точке», где расстояние между обрабатываемой и вновь полученной поверхностями наименьшее (рис. 1). Во всех прочих «точках» удаляется несколько больший слой.

Определённый по выше приведённым рекомендациям минимальный припуск может быть использован в размерных расчётах по методике проф. Матвеева В.В. [1], в которой прочие составляющие припуска (Δ_Σ и ε_6) учитываются отдельно.

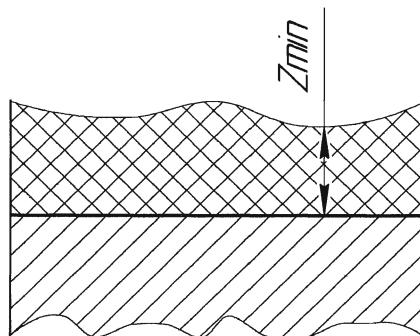


Рис. 1. Схема к определению понятия минимально необходимого припуска

3. РАЗМЕРНЫЕ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Виды размерных схем

Размерные схемы представляют собой специальный технологический документ, в котором графически представлены размерные параметры детали на каждой технологической операции и иллюстрируются изменения каждого размерного параметра по мере выполнения технологического процесса.

Размерные схемы можно разделить на три разновидности.

А) Схемы линейных размеров и пространственных отклонений. Они строятся для расчёта точностных параметров продольных размеров валов, втулок и других тел вращения, а также для продольных размеров прочих деталей.

Б) Схемы диаметральных размеров и пространственных отклонений, с помощью которых рассчитываются точностные параметры диаметральных размеров валов, втулок и прочих тел вращения.

В) Комбинированные размерные схемы, строящиеся для расчёта точностных параметров деталей типа корпусных и им подобных, со всеми видами поверхностей (замкнутых и незамкнутых). В зависимости от конфигурации детали они могут быть выполнены для разных проекций.

3.2. Классификация звеньев операционных размерных цепей

К числу наиболее часто встречающихся звеньев операционных размерных цепей могут быть отнесены размеры всех видов, погрешности относительного положения поверхностей, припуски, снимаемые с поверхностей на операциях; глубины слоёв насыщения, толщины слоёв покрытий, величины пластических деформаций и т.д., то есть любой элемент, который измеряется в линейных величинах.

Для удобства чтения и решения размерных цепей, целесообразно ввести ряд условностей в обозначениях и способах записи различных звеньев. Наиболее проста буквенная форма, когда любому звену даётся буквенное выражение с различными индексами. Например:

– размеры между поверхностями и проч. выражены прописными буквами русского алфавита с индексами, обозначающими номер операции, на которой этот размер получится (A^{30} – размер на 30-й операции);

– пространственные отклонения (отклонения формы и расположения) – цифрами, обозначающими номер поверхности, с индексом, обозначающим номер операции (1^{10} – пространственное отклонение поверхности 1, выполненное на 10-й операции; $3^{40}, 2^{20}$ – пространственное отклонение поверхности 3, выполненной на 40-й операции относительно поверхности 2, выполненной на 20-й операции);

– припуски, измеренные по нормали к обработанной поверхности, – буквой Z с цифровыми индексами (Z_1^{20} – припуск, удаляемый с поверхности 1 на 20-й операции).

При рассмотрении операционных размерных цепей очень важно правильно относить звенья к составляющим и замыкающим.

Размеры (или иные размерные параметры) обрабатываемой детали, которые в операционной карте предписаны к обязательному исполнению в пределах заданных допусков, являются составляющими звеньями операционной размерной цепи.

Размер (или иной размерный параметр) обрабатываемой детали, который получают в результате выполнения составляющих звеньев, называется замыкающим звеном операционной размерной цепи. Иногда говорят, что этот параметр получается автоматически.

С целью удобства анализа все замыкающие звенья в размерных контурах обозначаются пунктирными линиями, а их буквенные и цифровое обозначения заключаются в квадратные скобки

$$[Z_3^{20}], [A], [10, 15] \text{ и т. д.}$$

Наиболее характерным является случай, когда в качестве замыкающего звена выступает припуск (рис. 2).

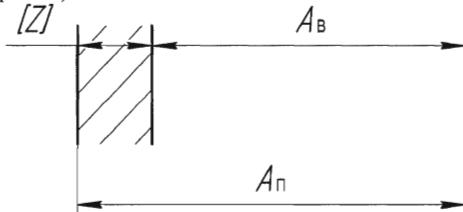


Рис. 2. Размерная цепь с припуском – замыкающим звеном

Здесь A_B – размер на выполняемой операции; A_n – размер на предшествующей операции.

Размеры A_B и A_n предписываются к обязательному выполнению (составляющие звенья), и потому припуск в таких цепях всегда выполняет роль замыкающего звена, которое возникает в результате выполнения составляющих звеньев.

Уравнение размерной цепи в этом случае следующее:

$$[Z] = A_n - A_B .$$

Иногда приходится рассматривать случаи, когда припуск является не замыкающим звеном, а составляющим. Например, когда припуск удаляется с поверхности, служащей базой на данной операции. На рис. 3 представлен случай обработки на фрезерном станке.

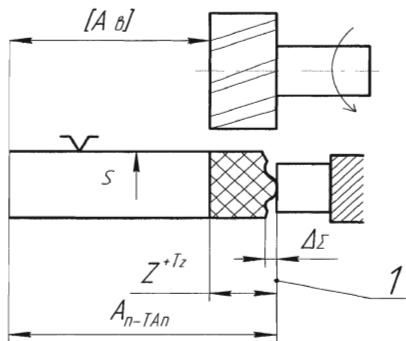


Рис. 3. Схема удаления припуска в операции фрезерования с поверхности, являющейся базовой

Поверхность 1 – базовая на данной операции и она же на этой операции обрабатывается. При обработке удаляется некоторый припуск. Величина Z , представляющая собой размер между упором и режущими кромками инструмента, перестаёт зависеть от величин A_B и A_Π , а зависит только от точности установки режущего инструмента относительно упора и припуск приобретает значение составляющего звена. Величина A_B , наоборот, становится зависимой от A_Π и Z , то есть звено A_B в данном случае является замыкающим. Уравнение размерной цепи для этого случая:

$$[A_B] = A_\Pi - Z.$$

Так как звено Z является составляющим, на него может быть установлен допуск T_Z , как для размера. Минимальный припуск Z_{\min} принимаем равным

$$Z_{\min} = R_z + \Delta_\Sigma^n \quad \text{или} \quad Z_{\min} = R_z + h + \Delta_\Sigma^n.$$

3.3. Методика построения размерных схем

Вверху листа посередине вычерчивают чертёж детали, либо её проекцию так, чтобы вертикальные линии отстояли друг от друга на расстоянии 10...15 мм, не взирая на нарушение масштаба отдельных частей детали. На проекции показывают все размеры, располагая их горизонтально, а под изображением на горизонталь проектируют все вертикальные поверхности и нумеруют их слева на право.

Под преобразованным чертежом детали изображается последняя операция тех процесса, а под ней – предпоследняя и т. д., вплоть до заготовки. В технологических операциях на размерной схеме эскизы не даются, а с помощью условных обозначений представляют, что происходило с деталью в данной операции и какие точностные характеристики предполагается обеспечивать. Эти данные берутся из плана операций. Заполнение операций ведут последовательно от последней к нулевой. После показа последней (n-й операции) она отделяется горизонтальной линией, все вертикали-поверхности опускаются вниз до этой линии. Затем вносят условные обозначения предпоследней (n-й операции) и процесс повторяется до нулевой операции.

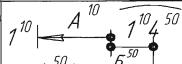
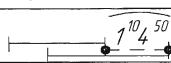
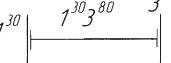
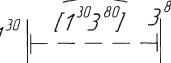
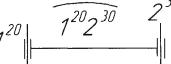
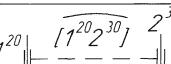
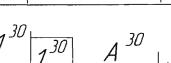
Условные обозначения, используемые в размерных схемах, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условные обозначения

Содержание	Условные обозначения
Вновь возникающая в операции 30 поверхность 5	
Исчезающая в операции 40 поверхность 6	

Содержание	Условные обозначения
Исчезающая и вновь возникающая в операции 40 осевая линия 6	
То же при заданом смещении линий $\underline{6^{20} 6^{40}}$ (смещение $\underline{6^{20} 6^{40}}$ - составляющее звено)	
То же при заданом смещении линий $\underline{6^{20} 6^{40}}$ (смещение $\underline{6^{20} 6^{40}}$ - замыкающее звено)	
Припуск, удаляемый с поверхности 1 в операции 20	
Напуск, удаляемый в операции 20	
Слой покрытия (хромирования и проч.) заданной толщины на поверхности 1 в операции 20	
Слой насыщения (цементация, азотирование и проч.) на заданную глубину поверхности 1 в операции 20	
Раздутие, усадка, угар, деформация и т.д. поверхности 1, сопровождающиеся изменением размера на величину в операции 20	
Поверхность 6^{40} при необходимости разрыва линий в схеме	
Размер между поверхностью 1 (измерительной базой), и поверхностью 2, образовавшейся на операции 40 (составляющее звено)	
То же (замыкающее звено)	
Радиус цилиндрической поверхности 1, возникающей на операции 20, и ось этой пов.	
То же (замыкающее звено)	
Радиус цилиндрической поверхности 1 и ось этой поверхности 1^{20} . Поверхность 1^{10} и ось этой поверхности на операции 20 исчезает	

Содержание	Условные обозначения
Общая ось нескольких цилиндрических поверхностей ($1^{20} 3^{10}$)	
Несоосность поверхности 1, выполненной в операции 10, и поверхности 4 (составляющее звено)	
То же (замыкающее звено)	
Неперпендикулярность поверхности 1, выполненной в операции 30, относительно поверхности 3 (составляющее звено)	
То же (замыкающее звено)	
Непараллельность поверхности 1, выполненной в операции 20, относительно поверхности 2 (составляющее звено)	
То же (замыкающее звено)	
Самостоятельная погрешность формы поверхности 1 на операции 30	

Проследим порядок построения схемы на примере. Чертёж детали представлен на рис. 4.

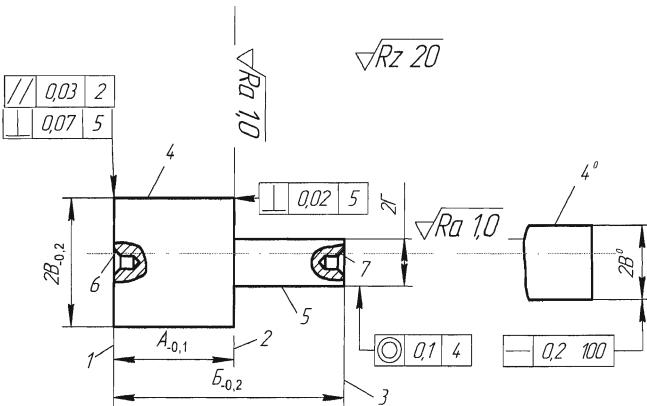
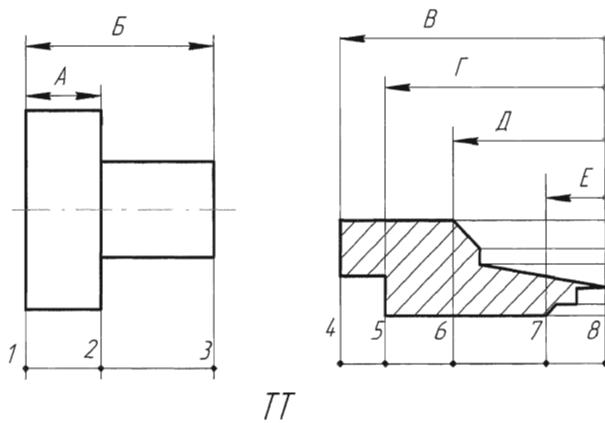


Рис. 4. Чертёж двухступенчатого валика

1. Выполняем преобразование чертежа в продольном и диаметральном направлениях (рис. 5).



1 // 1,2ξ 2 ⊥ 1,5ξ
3 ⊥ 2,5ξ 4. ○ 5,4ξ

Рис. 5. Преобразованный чертёж двухступенчатого валика

2. Разрабатываем подробный план обработки детали с указанием по каждой операции баз, размерных стрелок и технических требований (рис. 6).

№ опер	Эскизы	Допуски и ТТ	№ опер	Эскизы	Допуски и ТТ
0 Загот		ТВ = 0 4ξ°	20 Центр		▽Rz 20 ○ 6^20 5^20 ξ или ○ 5^20 8^20 ξ ○ 6^20 5^20 ξ
10 Токарн		▽Rz 20 TA = 0 TXV = 0 TB = 0 TTV = 0 1^20 2^20 ξ 2^20 3^20 ξ 4^20 5^20 ξ 4^20 6^20 ξ 7^20 8^20 ξ	30 Шлиф		▽Ra 10 TA = 0 TTV = 0 2^20 5^20 ξ 5^20 8^20 ξ

Рис. 6. План обработки двухступенчатого валика

3. Проводим построение размерных схем технологического процесса по каждому направлению размеров детали.

Построение схемы линейных (продольных) размеров

Размерная схема в продольном направлении представлена на рис. 7. Для её построения в средней части листа вычерчивают преобразованный чертёж детали. Всё поле ниже чертежа делят вертикальными линиями на 7 граф и горизонтальными по количеству операций, в которых происходят изменения линейных размеров.

В графике 1 указывают номер и краткое название операции. В графике 2 записывают припуск (Z_{\min}).

В графике 3 заносят значения допусков, на операционные размеры, рассчитанных по методике, приведённой на с. 7.

<i>N^o оп.</i>	<i>Z</i>	<i>TA_i</i>		<i>Уравнения разм. цепей</i>	<i>Операц. размеры</i>	<i>Прим</i>
1	2	3	4	$[Z_2^30] = A^30 - A^30$		
30 Шлиф.	$Z_{\min} = R_z$	$TA^{30} = wA^{30}$				
10 Токарн.		$TA^{10} = wA^{10}$	A^{10}			
		$TX^{10} = wX^{10}$	B			
		$Z_{\min}^{10} = R_z + h + J^{10}$	J^{10}			
0 Загат.			K^0			
			J^0			

Рис. 7. Размерная схема продольных размеров двухступенчатого валика

Графа 4, располагаемая под преобразованным чертежом, предназначена для построения размерной схемы обработки детали. В этой графике, начиная с последней операции, показывают все происходящие изменения торцовых поверхностей, предусмотренных планом обработки, и размерными линиями со стрелками указывают размеры, получаемые на операциях. Размеры чертежа, непосредственно не

выполняемые (замыкающие звенья), указываются в схеме двойными или пунктирными линиями со стрелками на той операции, на которой эти чертёжные размеры обеспечиваются. Все замыкающие звенья заключаются в квадратные скобки.

В 5-й графе записываются уравнения размерных цепей, в 6-й проставляются полученные в результате расчёта размерной цепи операционные размеры.

Построение схемы диаметральных размеров и несоосностей

Оно аналогично построению схемы продольных размеров, но имеет некоторые особенности.

1. В качестве звеньев применяются не диаметры цилиндрических поверхностей, а их радиусы.

2. Так как возникающие при обработке цилиндрических поверхностей погрешности взаимного расположения (несоосности) непосредственно определяют величины операционных радиусов и припусков на сторону, то необходимо величину этих несоосностей включить в размерную цепь как самостоятельные звенья.

На рис. 8 представлена общая схема диаметральных размеров и несоосностей. В правой части размерной схемы выносятся оси цилиндрических поверхностей готовой детали (чертежа). Изменение положения их при обработке указано в виде разрыва оси; в нём может быть записана величина несоосности, получаемой на данной операции.

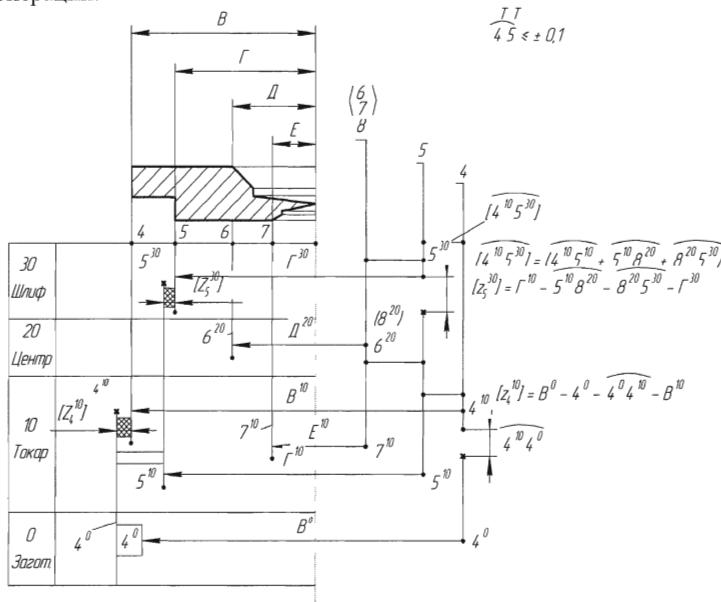


Рис. 8. Схема диаметральных (радиальных) размеров и несоосностей

Разрыв вертикальной линии 4 характеризует изменения положения оси (несоосность) заготовки и поверхности 4, полученной на 10-й операции. Разрыв вертикали 5 означает несоосность поверхности 5 после 30-й операции (шлифования) по отношению к оси этой же поверхности, полученной после 10-й операции. Каждой цилиндрической поверхности соответствует своя ось, и поэтому они нумеруются теми же цифрами, какими обозначены и сами цилиндрические поверхности.

Так, участок вертикальной линии 5³⁰ означает ось цилиндрической поверхности 5, полученной на 30-й операции и т. д. Ось центров также изображена самостоятельной вертикалью 8²⁰, в которой совмещены и оси центральных отверстий 6²⁰ и 7¹⁰.

Построение размерной схемы пространственных отклонений тел вращения

Для построения схемы пространственных отклонений проводим ряд вертикальных линий, которые обозначают все торцевые поверхности и нумеруются в соответствии с их обозначением на чертеже (рис. 9).

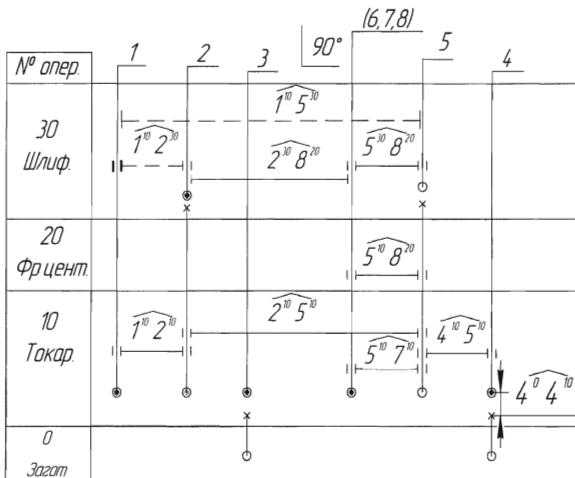


Рис. 9. Схема пространственных отклонений

Изменение положения этих поверхностей в процессе изготовления обозначаются разрывами, в которых при необходимости проставляются величины возникающих погрешностей.

Правее этих вертикальных линий проводим другой ряд вертикалей, имитирующих оси горизонтальных поверхностей (в примере – цилиндрических поверхностей). Нумерация этой группы линий берётся также с чертежа. Изменение положения осей в процессе изготовления также обозначаются разрывами. Так, в разрыве вертикальной линии 4 проставляется величина непараллельности оси заготовки по отношению к оси поверхности 4, выполненной на 10-й операции $4^{\circ} 4^{\circ}$.

Разрыв вертикали 2 означает непараллельность поверхности торца 2, полученного после шлифования на 30-й операции, по отношению к этой же поверхности после 10-й операции $2^{10} 2^{30}$.

3.4. Операционные размерные цепи

После построения размерных схем по каждой из них раздельно выявляют контуры размерных цепей. Количество контуров должно соответствовать количеству замыкающих звеньев. Для каждого замыкающего звена, начиная с одной его стороны, производят обход по составляющим звеньям (один раз по каждому) до возвращения к другой его стороне. Встречающиеся на пути обхода звенья записываются со своим знаком (увеличивающие +, уменьшающие -), и по ним составляется уравнение размерных цепей.

В рассмотренном выше примере можно выявить и записать уравнения следующих размерных цепей.

а) По схеме линейных (продольных) размеров – три контура (рис. 10).

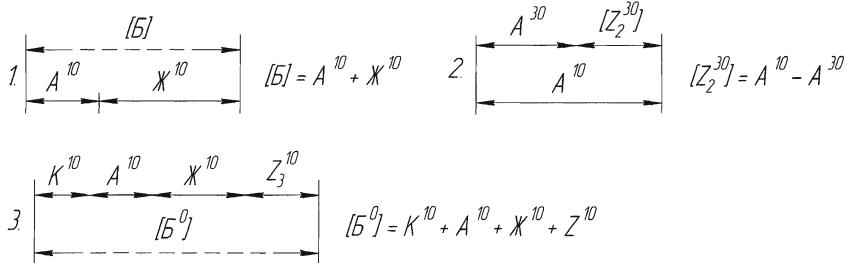


Рис. 10. Размерные цепи продольных размеров

б) По схеме диаметральных размеров и несоосностей – три контура (рис. 11).

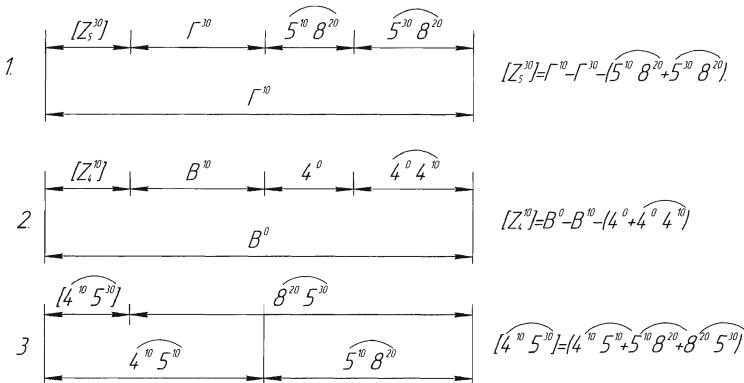


Рис. 11. Размерные цепи радиусов и несоосностей

в) По схеме пространственных отклонений – два контура (рис. 12).

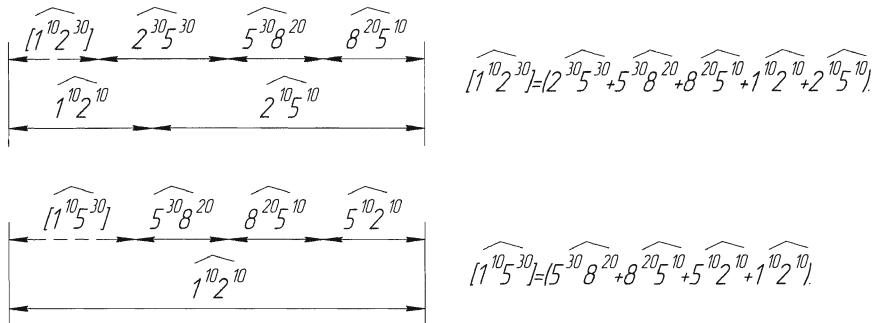


Рис. 12. Размерные цепи пространственных отклонений

Если при обходе окажется, что какой-либо контур не замыкается, это указывает на то, что в операции (или в нескольких операциях) не заданы необходимые размеры или технические требования и их следует добавить в план операций и в размерную схему.

Если же при обходе цепи окажется возможным построение нескольких вариантов контуров, то это будет свидетельствовать о задании излишних размеров и технических требований, которые необходимо из размерной схемы удалить, так как многовариантность контуров приведёт к неопределённости решения задачи по размерному анализу.

При составлении уравнений в контурах пространственных отклонений, где замыкающим звеном является также пространственное отклонение, все составляющие звенья берутся со знаком плюс. В уравнениях размерных цепей, где замыкающим звеном является припуск, составляющие звенья, представляющие собой пространственные отклонения, необходимо брать со знаком минус, так как они всегда ведут к уменьшению величины действительного припуска.

3.5. Расчёт операционных размерных цепей

К расчёту операционных размерных цепей приступают после полного построения размерной схемы и проверки условий о том, что предлагаемый вариант технологического процесса обеспечивает чертёжные технические требования, которые являлись замыкающими звеньями.

Расчёт операционных размерных цепей сводится в основном к решению задач смешанного типа. Применяются четыре способа расчёта операционных размерных цепей: способ отклонений, способ координат середины поля допуска, способ средних значений размеров, способ предельных значений.

Расчёт любой размерной цепи представляет собой ряд последовательных шагов по определению искомых характеристик. В табл. 2–4 приведены алгоритмы расчёта для второго и четвёртого способов. Алгоритмы с индексом «а» используются для расчёта цепей на максимум-минимум, с индексом «б» – для расчёта цепей вероятностным методом.

Таблица 2

Алгоритм расчёта технологических размерных цепей, у которых замыкающее звено припуск, по способу координат середин полей допусков

Этап расчёта	Содержание расчёта	Расчётные формулы
1	Определить координаты середин полей допусков (колебаний) составляющих звеньев	$\Delta_0 A_i = \frac{\Delta_{\text{в}} A_i + \Delta_{\text{н}} A_i}{2}$
2	Определить координату середины поля рассеяния (колебания) замыкающего звена	$\Delta_0 Z = \Delta_0 A_\Delta = \sum \xi_i \Delta_0 A_i$
3	Определить половины полей допусков (колебаний) составляющих звеньев	$\frac{\pi A_i}{2} = \left \frac{\Delta_{\text{в}} A_i - \Delta_{\text{н}} A_i}{2} \right $
4	Определить половину поля рассеяния (колебания) замыкающего звена	a) $\frac{\pi A_\Delta}{2} = \sum \xi_i \frac{\omega A_i}{2}$ б) $\frac{\omega A_\Delta}{2} = \frac{t}{2} \sqrt{\sum \xi_i^2 \lambda_i \omega^2 A_i}$
5	Определить номинальное значение замыкающего звена	$A_\Delta = A_{\Delta \min} - \Delta_0 A_\Delta + \frac{\omega A_\Delta}{2}$
6	Определить номинальное значение искомого звена	$A^{\text{иск}} = A_\Delta - \sum \xi_i A_i$

Таблица 3

Алгоритм расчёта технологических размерных цепей по способу предельных значений.

Метод максимума-минимума

Этап расчёта	Содержание расчёта	Расчётная формула
1	Определить поля допусков (колебаний) всех составляющих звеньев	$\omega A_i = \Delta_b A_i - \Delta_h A_i$
2	Определить поле рассеяния (колебания) замыкающего звена	$\omega A_\Delta = \sum \xi_i \omega A_i$
3	Определить наибольшие значения составляющих звеньев	$A_{i_{\max}} = A_i + \Delta_b A_i$
4	Определить наименьшее значение составляющих звеньев	$A_{i_{\min}} = A_i + \Delta_h A_i$
5	Определить наибольшее значение замыкающего звена	$A_{\Delta_{\max}} = A_{\Delta_{\min}} + \omega A_\Delta$
6	Определить наибольшее значение искомого составляющего звена	$A_{y_{\text{ум}} \max}^{\text{иск}} = \sum A_{y_{\text{ум}} \min} - \sum A_{y_{\text{ум}} \max} + A_{\Delta_{\max}}$
		$A_{y_{\text{ум}} \max}^{\text{иск}} = \sum A_{y_{\text{ум}} \min} - \sum A_{y_{\text{ум}} \max} - A_{\Delta_{\min}}$
7	Определить наименьшее значение искомого составляющего звена	$A_{y_{\text{ум}} \min}^{\text{иск}} = \sum A_{y_{\text{ум}} \max} - \sum A_{y_{\text{ум}} \min} + A_{\Delta_{\min}}$
		$A_{y_{\text{ум}} \min}^{\text{иск}} = \sum A_{y_{\text{ум}} \max} - \sum A_{y_{\text{ум}} \min} - A_{\Delta_{\max}}$
8	Определить номинальное значение искомого звена	$A_h^{\text{иск}} = A_{\min}^{\text{иск}} + \Delta_h A^{\text{иск}}$

Таблица 4

Алгоритм расчёта технологических размерных цепей, у которых замыкающее звено – чертёжный размер, по способу координат середин полей допусков

Этап расчёта	Содержание расчёта	Расчётные формулы
1	Определить координату середины поля допуска замыкающего звена – чертёжного размера	$\Delta_0 A_{\Delta \text{черт}} = \frac{\Delta_{\text{в}} A \Delta \text{черт} + \Delta_{\text{н}} A \Delta \text{черт}}{2}$
2	Определить координаты середин полей допусков известных звеньев	$\Delta_0 A_i = \frac{\Delta_{\text{в}} A_i + \Delta_{\text{н}} A_i}{2}$
3	Определить координату середины поля допуска искомого звена	$\Delta_0 A^{\text{иск}} = \Delta_0 A_{\Delta} - \sum \xi_i \Delta_0 A_i$
4	Определить номинальное значение искомого звена	$A_{\text{н}}^{\text{иск}} = A_{\Delta \text{н}} - \sum \xi_i A_{i \text{н}}$
5	Записать искомое звено с тремя характеристиками	$A^{\text{иск}} = A_{\text{н}}^{\text{иск}} + \Delta_0 A^{\text{иск}} \pm \frac{T A^{\text{иск}}}{2}$
6	Записать технологический размер в требуемой форме	A_{-TA} или A^{TA} или $A^{\Delta_{\text{в}} A}_{\Delta_{\text{н}} A}$

4. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. Порядок проектирования и размерного анализа технологического процесса

При проведении размерного анализа следует придерживаться следующего порядка проектирования технологического процесса и последовательности выполнения работ.

1. Вычерчивают преобразованный чертёж детали в одной или нескольких проекциях, в зависимости от типа детали. Нумеруют все поверхности и оси, присваивают всем размерам буквенные обозначения.

2. Выбирают способ получения заготовки с вычерчиванием её эскиза.

3. Составляют маршрут и план обработки детали с вычерчиванием эскиза по каждой операции. На эскизе указывают цифровое обозначение поверхностей, проставляют размерные линии с буквенным обозначением и индексом операции и

технические требования (ТТ) к данной операции, величины которых задают в соответствии с приложениями 1, 4, 5, 6.

В зависимости от программы и других организационно-технических факторов выбирают оборудование (тип, марка), метод работы на каждой операции (метод пробных проходов, на настроенных станках). Указывают величины допусков на размеры, которые выбирают по таблице (прил. 3).

4. Вычерчивают на листе размерные схемы технологического процесса и схему пространственных отклонений. Схемы выполняются для одной или нескольких проекций в зависимости от конфигурации детали. При вычерчивании схемы используют условные обозначения (см. табл. 1).

5. Проверяют, какие из чертёжных размеров и пространственных отклонений непосредственно не выполняются (замыкающие звенья), и наносят их на соответствующие размерные схемы пунктирными или двойными линиями. Буквенное обозначение замыкающих звеньев заключаются в квадратные скобки.

6. Выписывают все замыкающие звенья и, выполняя обход размерных контуров, записывают уравнения размерных цепей. Число замыкающих звеньев и размерных контуров при правильном построении должно оказаться равным числу неизвестных звеньев – операционных размеров.

7. Определяют значение всех операционных допусков.

8. Проверяют чертёжные размеры и ТТ, которые непосредственно не выполняются (являются замыкающими звеньями). Проверку осуществляют следующим образом. Суммируют все операционные допуски размеров, входящих в контур, и сравнивают с чертёжными допусками. Если условие $T_{ЧЕР} \geq \omega A_d = \sum T_{оп}$ соблюдены, то принятый вариант технологии обеспечит чертёжные размеры. Аналогично проверяют пространственные отклонения – замыкающие звенья. При неудовлетворении указанных условий технологический процесс и соответственно размерные схемы корректируются.

9. Определяют значения минимально необходимых припусков Z_{min} .

10. Выбрав необходимый алгоритм расчёта, выполняют решения размерных цепей. Расчет начинают с уравнения, в котором имеется одно неизвестное звено. Найденные значения звеньев-размеров заносят впоследствии в операционные карты технологического процесса.

11. Определяют значение Z_{max} .

Возникающие при проведении размерного анализа неопределённости (недостающие или излишние звенья, невозможность решения уравнений и проч.) свидетельствуют о том, что правило или порядок проектирования или расчёта были нарушены.

4.2. Примеры размерного анализа

Пример 1. Выполнить размерный анализ технологического процесса изготовления вала (рис. 13), к которому предъявляются следующие технические требования.

1. Материал, сталь 40Х, закалить, твёрдость HRC₃ = 48...50.
2. Смещение поверхностей Ø100 и Ø60 до 0,3.
3. Смещение поверхностей Ø80 и Ø60 до 0,15.
4. Неперпендикулярность торца 2 относительно оси поверхности Ø80 до 0,02.
5. Допускаются центровые отверстия по ГОСТ 14034-74.
6. Вес детали 14,6 кг.

Анализ будем выполнять последовательно.

1. Преобразуем чертёж в двух проекциях (см. рис. 14).
2. Принимаем в качестве заготовки штамповку (см. эскиз в маршруте на рис. 15).
3. Намечаем маршрут обработки детали по операциям (см. рис. 15). В операции 50 (термическая) может произойти изменение размеров за счёт усадки, угара, раздутия. Величины погрешностей, возникающие в термообработке, могут быть определены экспериментально на пробных партиях. В данном примере принято, что при термообработке возникает смещение поверхностей за счёт раздутия на величину $\alpha = \dots 0,03$.

Допуски на операционные размеры и достигаемые значения пространственных отклонений назначаются по таблицам (см. прил. 1, 3, 4, 5, 6).

Расчёт допусков по операциям

0 операция – заготовительная

1. Определяем Исходный индекс = G+M+C+T [5, с. 8, табл. 1]:
 $G=7$ (масса 14,6 кг); $M=1$ (группа стали М2); $C=1$ (степень сложности С2);
 $T=6$ (класс точности Т4 – КГШП).

Исходный индекс равен 15.

2. Допуски на размеры по табл. 2 [5]:
 $TA^0=5,0$; $TB^0=3,6$; $TC^0=3,1$;
 $T2E^0=3,6$; $T2\Delta^0=3,1$; $T2\Gamma^0=3,1$;
 $\otimes 7^0 9^0 \leq 0,6$; $\otimes 8^0 9^0 \leq 0,6$ [П.4, табл. П4.4].

10 операция – фрезерно-центровальная

1. TA^{10} по JT12 [П.1 с.63], поэтому $TA^{10}=0,57$ [П.3, с. 70].
2. $TH^{10} = TH_{cr}^{10} + \Delta_{изм} = 0,46 + 1,0 = 1,46$,
 $TH_{cr}^{10} = 0,46$ по JT12,
 $\Delta_{изм} = 1,0$ [П.4, табл. 4.1].
3. $\otimes 12^{10} 9^0 = 0,2$; $\otimes 12^{10} 8^0 = 0,2$ [П.4, табл. П4.4].
4. $\perp 6^{10} 12^{10} = 0,08$; $\perp 1^{10} 12^{10} = 0,08$ [П.4, табл. П4.1].

20 операция – токарная

1. $T\Gamma^{20} = T\Gamma_{ct}^{20} + \Delta_{изм} = 0,29 + 0,08 = 0,37;$
 $T\Gamma_{ct}^{20} = 0,29$ по JT 11 [П.3, с. 70];
 $\Delta_{изм} = 0,08$ [П.4, табл. П4.1] $\rightarrow // 1^{10} 4^{20};$
 $TC^{30} = 0,22$ по JT 11.
2. $T2\Gamma^{20} = 0,22$ по JT 11; $T2\Gamma^{20} = 0,19.$
3. $\otimes 12^{10} 7^{20} = 0,08$ [П.4, табл. П4.4],
 $\otimes 12^{10} 9^{20} = 0,06$ [П.4, табл. П4.4].

30 операция – токарная

1. $TP^{30} = TP_{ct}^{30} + \Delta_{изм} = 0,32 + 0,08 = 0,4;$
 $TP_{ct}^{30} = 0,32$ по JT 11 [П.3, с. 70],
 $\Delta_{изм} = 0,08 \rightarrow // 2^{30} 6^{10}$ [П.4, табл. П4.1];
 $TC^{30} = 0,22$ по JT 11.
2. $T2D^{30} = 0,22$ по JT 11,
 $\otimes 12^{10} 8^{30} = 0,08$ [П.4, табл. П4.4],
 $\perp 2^{30} 12^{10} = 0,08$ [П.4, табл. П4.1].

40 операция – фрезерная

1. $TM^{40} = TM_{ct}^{40} + \Delta_{изм} = 0,19 + 0,08 = 0,27,$
 $TM_{ct}^{40} = 0,19$ по JT 11 [П.3, с. 70],
 $\Delta_{изм} = \perp 2^{30} 12^{10} = 0,08$ [П.4, табл. П4.1],
 $TK^{40} = 0,16$ по JT 11.
2. $T\Gamma^{40} = T\Gamma_{ct}^{40} + \varepsilon_6 = 0,16 + 0,21 = 0,37,$
 $T\Gamma_{ct}^{40} = 0,16$ по JT 11,

$$\varepsilon_6 = 0,5T\Gamma^{30} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) = 0,5 * 0,22 \left(\frac{1}{0,707} - 1 \right) = 0,21. \quad [4. с. 45, схема 3, размер H_1].$$

50 операция – термическая

- $$\otimes 9^{50} 12^{10} = \Delta_y \cdot 185 = 0,005 \cdot 185 = 0,0925,$$
- $$\otimes 7^{50} 12^{10} = \Delta_y \cdot 200 = 0,005 \cdot 200 = 0,1,$$
- $$\otimes 8^{50} 12^{10} = \Delta_y \cdot 120 = 0,005 \cdot 120 = 0,06,$$
- $$\perp 4^{50} 12^{10} = \Delta_y \cdot 100 = 0,005 \cdot 100 = 0,05,$$
- Δ_y – удельное коробление при термообработке [П.7, табл. П7.2 с. 73].

60 операция – шлифовальная

1. $TC^{60} = TC_{ct}^{60} + \Delta_{изм} = 0,46 + 0,02 = 0,066,$
 $TC_{ct}^{60} = 0,046$ по JT8 [П.3, с. 70],
 $\Delta_{изм} = \perp 4^{50} 12^{10} = 0,02$ [П.4, табл. П4.1].
2. $T2D^{60} = 0,03$ по JT7 [П.3, с. 70],
 $\otimes 8^{60} 12^{10} = 0,02$ [П.4, табл. П4.4],
 $\perp 2^{60} 8^{60} = 0,02$ [П.4, табл. П4.1].

4. Вычерчиваем схемы продольных (рис. 16) и радиальных размеров (рис. 17). Схема пространственных отклонений не приводится, так как в чертеже вала (см. рис. 13) имеется одно требование по величине допустимой неперпендикулярности поверхностей 2 и 8, которое выдерживается непосредственно в операции 60.

5. Вносим в схемы чертёжные размеры, которые непосредственно не выполняются в технологических операциях и являются замыкающими звенями. Эти звенья представлены пунктирными линиями и их значения даны в квадратных скобках. В схеме на рис.16 такими звеньями являются [B], [M], [A], [K], на рис. 17 – [E], [Г], [Ц], [8,9] и [7,9].

6. Производим обход всех размерных контуров и записываем уравнения всех размерных цепей в графу 3 схем (см. рис. 16 и 17).

7. Определяем операционные допуски по таблицам статистической точности (см. прил. 1, 3, 4, 5, 6), допуски на заготовку по ГОСТ 7505-89 [5] и вносим их в графу 5 размерных схем.

8. Проверяем, обеспечивается ли точность замыкающих звеньев – чертёжных размеров:

а) по схеме продольных размеров:

- 1) $TB \geq TA^{10} + TP^{30} + TC^{60} + Ta_1 + Ta_4,$
 $1,0 < 0,57 + 0,4 + 0,22 + 0,066 + 0,03 + 0,03 = 1,286$ – не выполняется.
- 2) $TM \geq TM^{40} + TC^{60} + TC^{30} + Ta_4 + Ta_3,$
 $0,5 < 0,27 + 0,066 + 0,22 + 0,03 + 0,03 = 0,61$ – не выполняется.
- 3) $TA \geq TA^{10} + Ta_1 + Ta_6,$
 $0,5 < 0,57 + 0,03 + 0,03 = 0,63$ – не выполняется.
- 4) $TK \geq TK^{40} + Ta_3 + Ta_5,$
 $0,3 > 0,16 + 0,03 + 0,03 = 0,22$ – обеспечивается.

Чтобы обеспечить точность замыкающих звеньев, необходимо уменьшить назначенные допуски с техническим обоснованием этого.

Принимаем:

$$TA^{10} = 0,36 \text{ по JT11 [П.3, стр.70]},$$

$$TC30 = 0,087 \text{ по JT 9 [П.3, стр.70]}.$$

Повторная проверка:

$$TB = 1,0 > 0,36 + 0,4 + 0,087 + 0,066 + 0,03 + 0,03 = 0,973 \text{ – обеспечивается.}$$

$$TM = 0,5 > 0,27 + 0,066 + 0,087 + 0,03 + 0,03 = 0,487 \text{ – обеспечивается.}$$

$$TA = 0,5 > 0,36 + 0,03 + 0,03 = 0,42 \text{ – обеспечивается.}$$

б) по схеме радиальных размеров:

- 1) $TE \geq TE^{20} + Ta_7; 0,23 \geq 0,11 + 0,03 = 0,14$ – обеспечивается.
- 2) $TG \geq TG^{20} + Ta_9; 0,2 \geq 0,095 + 0,03 = 0,125$ – обеспечивается.

3) ТЦ $\geq \text{ТЦ}^{40} + \text{Т}\alpha_{11}$; $0,4 \geq 0,37 + 0,03 = 0,4$ – обеспечивается.

4) $8,9 \geq 12^{10}9^{50} + 12^{10}8^{60}$; $0,15 \geq 0,0925 + 0,02 = 0,1125$ – обеспечивается.

5) $7,9 \geq 12^{10}9^{50} + 12^{10}7^{50}$; $0,3 \geq 0,0925 + 0,1 = 0,1925$ – обеспечивается.

Все размеры и допустимые величины несоосности в предлагаемом варианте технологического процесса обеспечиваются.

9. Определяем Z_{\min} по прил. 2 и вносим полученные значения в графу 4 размernых схем.

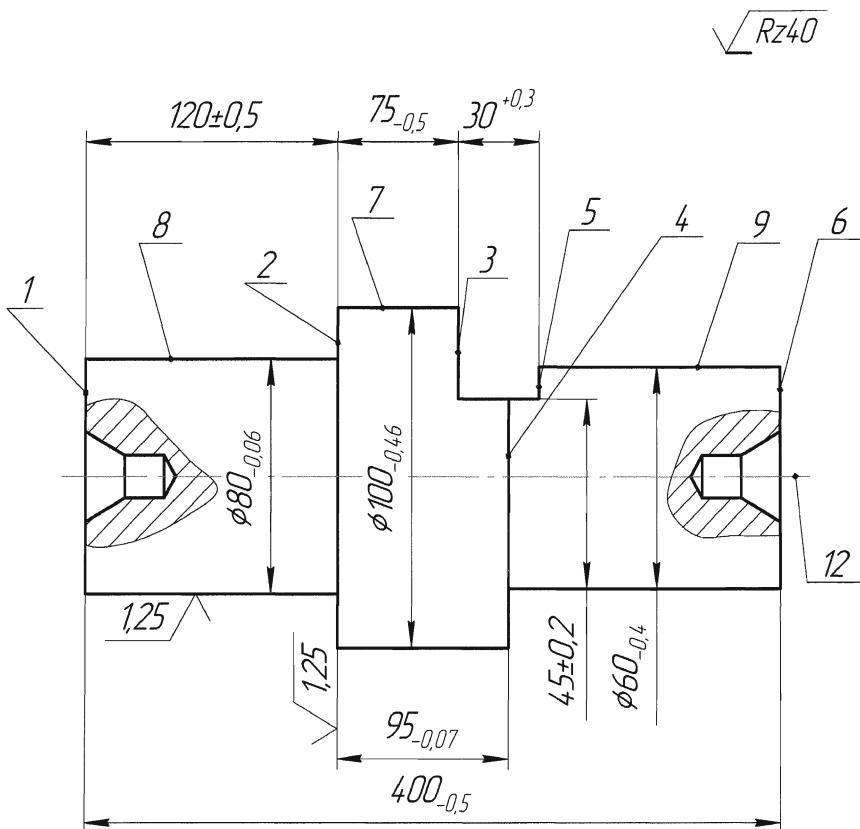


Рис. 13. Рабочий чертёж вала

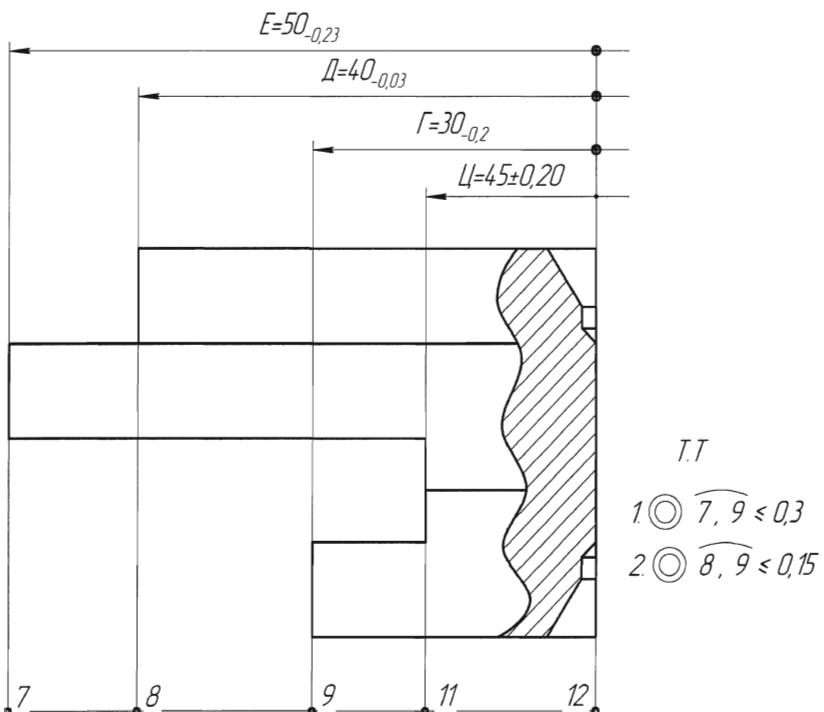
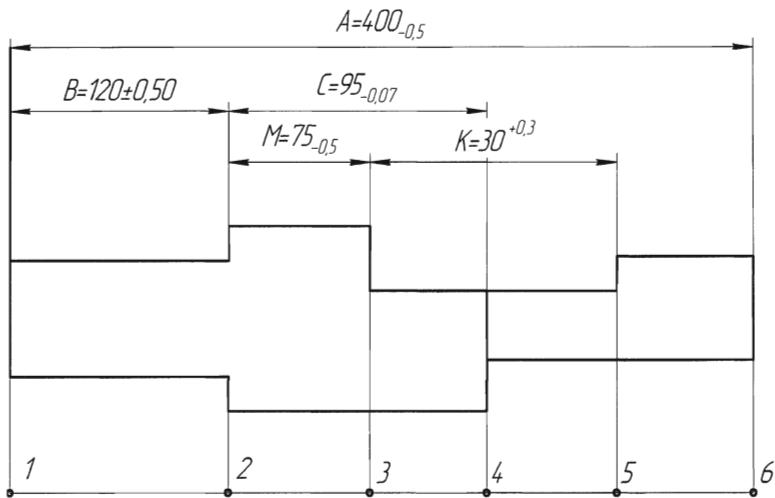


Рис. 14. Преобразованный чертёж вала

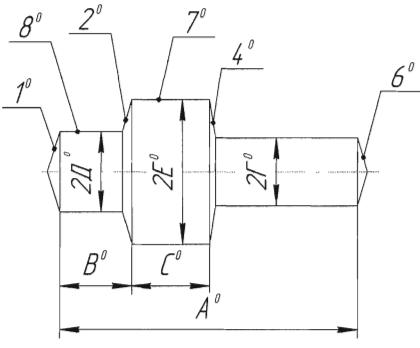
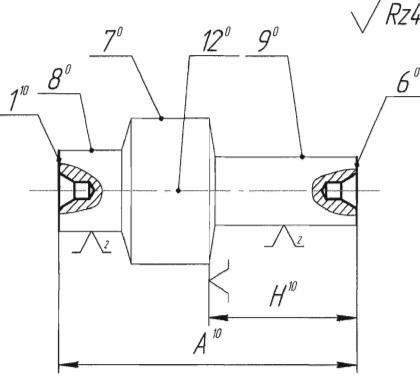
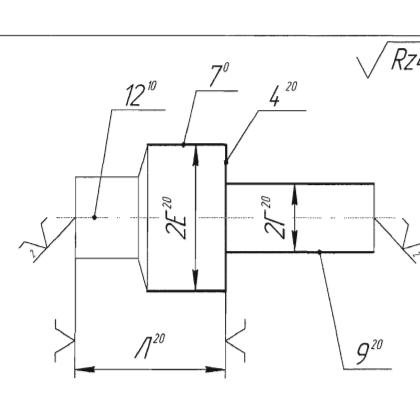
№ операции	Эскизы	Допуски и ТТ
0 Заготовительная	 <p>Technical drawing of the initial blank (0) showing various features with angles and dimensions A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z.</p>	$TA^{\circ}=5,0$ $TB^{\circ}=3,6$ $TC^{\circ}=3,1$ $T2D^{\circ}=3,1$ $T2E^{\circ}=3,6$ $T2F^{\circ}=3,1$ $\odot 7^{\circ} 9^{\circ}=0,6$ $\odot 8^{\circ} 9^{\circ}=0,6$ Глубина штампов $\widehat{I}^{\circ} \widehat{Z}^{\circ} = 4^{\circ} = 6^{\circ} = 10$
10 Фрезеро-центровальная	 <p>Technical drawing of the workpiece after粗加工 (10) showing features with angles 7, 8, 9, 12, 6, and height H, with a surface finish symbol $\sqrt{Rz40}$.</p>	$TA_{cm}^{10}=0,36 *$ $TH^{10}=TH_{cm}^{10}+\Delta_{um}=$ $=0,46+1,0=1,46$ $\odot 12^{10} 8^{\circ}=0,2$ $\odot 12^{10} 9^{\circ}=0,2$ $\perp 12^{10} 6^{10}=0,8$ $\perp 12^{10} 2^{10}=0,8$
20 Токарная	 <p>Technical drawing of the workpiece after finishing (20) showing features with angles 12, 7, 4, and height 2E, with a surface finish symbol $\sqrt{Rz40}$.</p>	$TA^{20}=TA_{cm}^{20}+\Delta_{um}=$ $=0,29+0,08=0,37$ $T2E^{20}=0,22$ $T2F^{20}=0,19$ $\odot 12^{20} 7^{20}=0,08$ $\odot 12^{20} 9^{20}=0,06$

Рис. 15. Технологический процесс изготовления вала

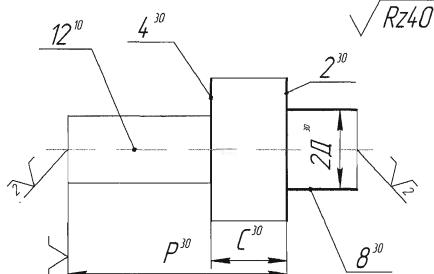
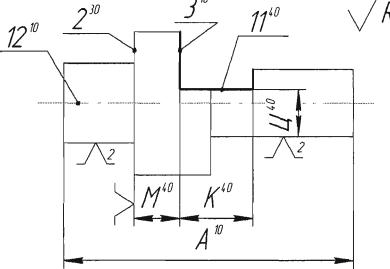
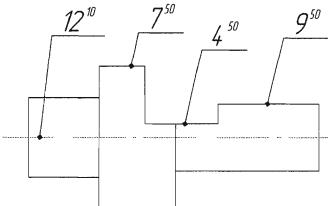
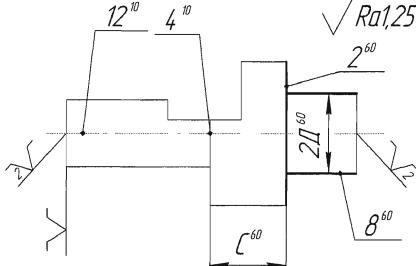
№ операции	Эскизы	Допуски и ТТ
30 Токарная		$TP^{10} = TP_{cm}^{10} + \Delta_{usm} = 0,32 + 0,08 = 0,4$ $TC^{10} = 0,087^*$ $T2D^{10} = 0,22$ $\odot 12^{10} 8^{10} = 0,08$ $\perp 2^{10} 12^{10} = 0,08$
40 Фрезерная		$TM^{40} = TM_{cm}^{40} + \Delta_{usm} = 0,19 + 0,08 = 0,27$ $TK^{40} = 0,16$ $T4^{40} = T4_{cm}^{40} + \varepsilon_d = 0,16 + 0,21 = 0,37$
50 Термическая		$\odot 12^{10} 9^{50} = 0,0925$ $\odot 12^{10} 7^{50}$ $\perp 4^{50} 12^{10} = 0,05$ $\odot 8^{50} 12^{10} = 0,06$
60 Шлифовальная		$TC^{60} = TC_{cm}^{60} + \Delta_{usm} = 0,046 + 0,02 = 0,066$ $T2D^{60} = 0,03$ $\odot 12^{10} 8^{60} = 0,02$ $\perp 2^{50} 8^{60} = 0,02$

Рис. 15. Окончание

A

Чтобы нене размерных цепей

<i>Nº</i> <i>опер.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>60</i> Шлифо- вальная			$[B]=A^{10}-P^{30}+\alpha_1+\alpha_4+C^{30}-L^{60}$ $[M]=M^{40}+C^{60}-L^{30}+\alpha_3-\alpha_4$ $[Z_2^{60}]=C^{30}-L^{60}+\alpha_4+\alpha_2$
<i>50</i> Терми- ческая			$[A]=A^{10}+\alpha_1+\alpha_6$ $[K]=K^{40}-\alpha_3-\alpha_5$
<i>40</i> Фрезер- ная			
<i>30</i> Токар- ная			$[Z_4^{30}]=l^{20}-A^{10}+P^{30}-C^{30}$ $[Z_2^{30}]=C^0+H^{10}-P^{30}$
<i>20</i> токар- ная			$[Z_4^{20}]=A^{10}-H^{10}-l^{20}$
<i>10</i> Фрез Центро- вальная			$[Z_1^{10}]=B^0+C^0+H^{10}-A^{10}$ $[Z_6^{10}]=A^0-B^0-C^0-H^{10}$
<i>0</i> Заготови- тельная			

Рис. 16. Размерная схема (продольные размеры)

<i>N^o опер.</i>	<i>Z_{min}, Z_{max}</i>	<i>TA_i</i>	<i>Операционные размеры</i>
60	$Z_{2\ min}^{60} = Rz = 0,05$ $Z_{2\ max}^{60} = 0,27$	$T\zeta^{60} = T\zeta_{cm}^{60} + 4^{50} 12^{10} =$ $= 0,046 + 0,02 = 0,066$	$\zeta^{60} = 95_{-0,07}$
50		$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 =$ $= 0..0,03$ $T\alpha_i = 0,03$	
40		$TM^{40} = TM_{cm}^{40} + 2^{30} 12^{10} =$ $0,19 + 0,08 = 0,27$ $TK^{40} = 0,16$	$M^{40} = 75_{-0,27}$ $K^{40} = 30,06^{+0,16}$
30	$Z_{4\ min}^{30} = Rz = 0,05$ $Z_{4\ max}^{30} = 0,92$ $Z_{2\ min}^{30} = Rz = 0,4$ $Z_{2\ max}^{30} = 5,36$	$TP^{30} = TP_{cm}^{30} + 6^{10} 12^{10} =$ $0,32 + 0,08 = 0,4$ $T\zeta^{30} = 0,087 *$	$\zeta^{30} = 95,14_{-0,09}$ $P^{30} = 280,05_{-0,4}$
20	$Z_{4\ min}^{20} = Rz = 0,4$ $Z_{4\ max}^{20} = 5,36$	$T\eta^{20} = T\eta_{cm}^{20} + 1^{10} 12^{10} =$ $= 0,29 + 0,08 = 0,37$	$\eta^{20} = 215,78_{-0,37}$
10	$Z_{1\ min}^{10} = Rz = 0,4$ $Z_{1\ max}^{10} = 5,82$ $Z_{6\ min}^{10} = Rz = 0,4$ $Z_{6\ max}^{10} = 6,86$	$TH^{10} = TH_{cm}^{10} + 4^0 =$ $= 0,46 + 1,0 = 1,46$ $TA^{10} = 0,36 *$	$A^{10} = 399,9_{-0,36}$ $H^{10} = 184,32_{-1,46}$
0		$TA^0 = 5,0$ $TB^0 = 3,6$ $T\zeta^0 = 3,1$	$\zeta^0 = 98,69_{-1,1}^{+2}$ $\eta^0 = 218,6_{-1,2}^{+2,4}$ $B^0 = 119,91_{-1,2}^{+2,4}$ $A^0 = 404,52_{-1,7}^{+3,3}$

Рис. 16. Окончание

* Обозначены откорректированные размеры по результатам проверки точности замыкающих звеньев (см. п. 8).

		E	Γ	U	12°		$T\Gamma$	
N^o опер.		7	8	9	11 12	7 8 9	1 ⊙ 7, 9<0,3	2 ⊙ 8, 9<0,15
60	Шлифо- вальная		θ^{60}	Γ^{60}		$12^\circ \theta^{60}$ $[Z_8^{60}] = \Gamma^{30} + \alpha_\theta - \Gamma^{60} - 12^\circ \theta^{60} - 12^\circ \theta^{30}$ $[8,9] = 12^\circ 9^{50} + 12^\circ \theta^{60}$		
50	Терми- ческая	7^{50}	α_7	E	8^{50} 9^{50} 11^{50}	$12^\circ 9^{50}$ $[E] = E^{20} + \alpha_7$ $[\Gamma] = \Gamma + \alpha_9$ $[U] = U^{40} + \alpha_{11}$	$12^\circ 9^{50} + 12^\circ 7^{50}$	
40	Фрезер- ная			11^{40}	U^{40}			
30	Токар- ная		θ^{30}	Γ^{30}		$12^\circ \theta^{30}$ $[Z_\theta^{30}] = \Gamma^0 - \Gamma^{30} - 12^\circ \theta^{30} - 12^\circ \theta^0$		
20	Токар- ная	7^{20}	E^{20}	9^{20}	Γ^{20}	$12^\circ 9^{20}$ $[Z_9^{20}] = \Gamma^0 - \Gamma^{20} - 12^\circ 9^{20} - 12^\circ 9^0$ $[Z_\Gamma^{20}] = E^0 - E^{20} - 12^\circ 7^{20} - 12^\circ 9^0 - 7^0 9^0$		
10	Фрез центр					$12^\circ \theta^0$ $12^\circ 9^0$		
0	Загото- витель- ная	7^0	E^0	8^0	9^0	$12^\circ \theta^0$ $12^\circ 9^0$		

Рис. 17. Размерная схема (радиальные размеры и несоосности)

<i>Nº опер.</i>	Z_{min}, Z_{max}	TA_i	<i>Операционные размеры</i>
60	$Z_{8min}^{60}=0,05$ $Z_{8max}^{60}=0,3$	$TD^{60}=0,015$	$D^{60}=40_{-0,005}$
50		$\alpha_7=\alpha_8=\alpha_9=\alpha_{10}=\dots=0,03$ $T\alpha=0,03$	
40		$TL^{40}=Tl_{cm}^{40}+\varepsilon_6=$ $=0,16+0,21=0,37$	$U^{40}=44,985 \pm 0,185$
30	$Z_{8min}^{30}=0,4$ $Z_{8max}^{30}=2,46$	$TD^{30}=0,11$	$D^{30}=40,26_{-0,11}$
20	$Z_{7min}^{20}=0,4$ $Z_{7max}^{20}=3,19$ $Z_{9min}^{20}=0,4$ $Z_{9max}^{20}=2,305$	$TR^{20}=0,095$ $TE^{20}=0,11$	$R^{20}=29,895_{-0,095}$ $E^{20}=49,88_{-0,11}$
0		$TD^0=1,55$ $TE^0=1,8$ $TR^0=1,55$	$D^0=4,149_{-0,55}^{+1}$ $E^0=51,76_{-0,6}^{+1,2}$ $R^0=31,105_{-0,55}^{+1}$

Рис. 17. Окончание

Производим последовательно расчёт размерных цепей

A. По схеме продольных размеров

(10 уравнений – 10 неизвестных номиналов):

Решение по способу предельных значений (см. табл. 3).

$$\text{Цепь 1. } [Z_2^{60}] = C^{30} - C^{60} + \alpha_2 + \alpha_4.$$

Из рис.15, 16 известно: $TC^{30} = 0,087$; $C^{60} = 95_{-0,07}$; $Z_2^{60}_{min} = 0,05$,
примем: $\Delta bC^{30} = 0$; $\Delta hC^{30} = -0,087$; $\alpha_2 = \alpha_4 = 0^{+0,03}$.

$$[Z_2^{60}]_{min} = C^{30}_{min} - C^{60}_{max} + \alpha_{2min} + \alpha_{4min},$$

$$C^{30}_{\min} = [Z_2^{60}]_{\min} + C^{60}_{\max} - \alpha_{2\min} - \alpha_{4\min} = 0,05 + 95 - 0 - 0 = 95,05.$$

$$C^{30}_{\max} = C^{30}_{\min} + T C^{30} = 95,05 + 0,087 = 95,137.$$

Принимаем: $C^{30} = 95,14_{-0,09}$.

$$Z_2^{60}_{\max} = Z_2^{60}_{\min} + \sum T = 0,05 + 0,09 + 0,07 + 0,03 + 0,03 = 0,27.$$

Цепь 2. $[M] = M^{40} + C^{60} - C^{30} + \alpha_3 - \alpha_4$.

Известно: $M = 75_{-0,5}$; $C^{60} = 95_{-0,07}$; $C^{30} = 95,14_{-0,09}$; $\alpha_3 = \alpha_4 = 0^{+0,03}$.

$$[M]_{\min} = M^{40}_{\min} + C^{60}_{\min} - C^{30}_{\max} + \alpha_{3\min} - \alpha_{4\max}.$$

$$M^{40}_{\min} = [M]_{\min} - C^{60}_{\min} + C^{30}_{\max} - \alpha_{3\min} + \alpha_{4\max} = 74,5 - 94,93 + 95,14 - 0 + 0,03 = 74,74.$$

$$M^{40}_{\max} = M^{40}_{\min} + T M^{40} = 74,74 + 0,27 = 75,01,$$

Принимаем: $M^{40} = 75_{-0,27}$.

$$Z_2^{60}_{\max} = Z_2^{60}_{\min} + \sum T = 0,05 + 0,09 + 0,07 + 0,03 + 0,03 = 0,27.$$

Цепь 3. $[A] = A^{10} + \alpha_1 + \alpha_6$.

Известно: $A = 400_{-0,5}$, $T A^{10} = 0,36$,

примем: $\Delta_B A^{10} = 0$; $\Delta_H A^{10} = -0,36$; $\alpha_1 = \alpha_6 = 0^{+0,03}$.

$$[A]_{\min} = A^{10}_{\min} + \alpha_{1\min} + \alpha_{6\min}.$$

$$A^{10}_{\min} = [A]_{\min} - \alpha_{1\min} - \alpha_{6\min} = 399,5 - 0 - 0 = 399,5.$$

$$A^{10}_{\max} = A^{10}_{\min} + T A^{10} = 399,5 + 0,36 = 399,86.$$

Принимаем $A^{10} = 399,86_{-0,36}$.

Решим эту же цепь способом координат середин полей допусков, когда замыкающее звено – чертёжный размер (см. табл. 4).

1. $\Delta_0 A = (0 - 0,5) / 2 = -0,25$.

2. $\Delta_0 \alpha_1 = \Delta_0 \alpha_2 = (0 + 0,03) / 2 = 0,015$.

3. $\Delta_0 A^{10} = \Delta_0 A - (\Delta_0 \alpha_1 + \Delta_0 \alpha_6) = -0,25 - (0,015 + 0,015) = -0,28$.

4. $A^{10}_{\text{ном}} = A_{\text{ном}} - (\alpha_1 + \alpha_6) = 400 - 0 - 0 = 400$.

5. $A^{10} = A^{10}_{\text{ном}} + \Delta_0 A^{10} \pm T A^{10} / 2 = 400 + (-0,28) \pm 0,36 / 2$.

Откуда $A^{10}_{\max} = 400 - 0,28 + 0,18 = 399,9$.

Примем: $A^{10} = 399,9_{-0,36}$.

Цепь 4. $[K] = K^{40} - \alpha_3 - \alpha_5$.

Известно: $K = 30^{+0,3}$, $T K^{40} = 0,16$,

примем: $\Delta_B K^{40} = 0,16$, $\Delta_H K^{40} = 0$, $\alpha_3 = \alpha_5 = 0^{+0,03}$.

$$[K]_{\min} = K^{40}_{\min} - \alpha_{3\max} - \alpha_{5\max}.$$

$$K^{40}_{\min} = [K]_{\min} + \alpha_{3\max} + \alpha_{5\max} = 30 + 0,03 + 0,03 = 30,06.$$

$$K^{40}_{\max} = K^{40}_{\min} + T K^{40} = 30,06 + 0,16 = 30,22.$$

Примем: $K^{40} = 30,06^{+0,16}$.

Цепь 5. $[B] = A^{10} - P^{30} + \alpha_1 + \alpha_4 + C^{30} - C^{60}$.

Известно: $B = 120 \pm 0,5$; $A^{10} = 399,9_{-0,36}$; $T P^{30} = 0,4$,

примем: $\Delta_B P^{30} = 0$, $\Delta_H P^{30} = -0,4$, $\alpha_1 = \alpha_4 = 0^{+0,03}$, $C^{30} = 95,14_{-0,09}$.

$$\begin{aligned}[B]_{\min} &= A^{10}_{\min} - P^{30}_{\max} + \alpha_{1\min} + \alpha_{4\min} + C^{30}_{\min} + C^{60}_{\max}. \\ P^{30}_{\max} &= A^{10}_{\min} + \alpha_{1\min} + \alpha_{4\min} + C^{30}_{\min} + C^{60}_{\max} - [B]_{\min} = \\ &= 399,5 + 0 + 0 + 95,05 - 119,5 = 280,05. \\ P^{30}_{\min} &= P^{30}_{\max} - TP^{30} = 280,05 - 0,4 = 279,65.\end{aligned}$$

Примем: $P^{30} = 280,05_{-0,4}$.

Цепь 6. $[Z_4^{30}] = \Pi^{20} - A^{10} + P^{30} - C^{30}$.

Известно: $Z_4^{30}_{\min} = 0,05$, $\Pi^{20} = 0,37$,
примем: $\Delta_{\text{ВЛ}}^{20} = 0$, $\Delta_{\text{НЛ}}^{20} = -0,37$, $P^{30} = 280,05_{-0,41}$, $C^{30} = 95,14_{-0,09}$,
 $A^{10} = 399,86_{-0,36}$.

$$\begin{aligned}[Z_4^{30}]_{\min} &= \Pi^{20}_{\min} - A^{10}_{\max} + P^{30}_{\min} - C^{30}_{\max}. \\ \Pi^{20}_{\min} &= Z_4^{30}_{\min} + A^{10}_{\max} - P^{30}_{\min} + C^{30}_{\max} = \\ &= 0,05 + 399,86 - 279,64 + 95,14 = 215,41. \\ \Pi^{20}_{\max} &= \Pi^{20}_{\min} + T\Pi^{20} = 215,41 + 0,37 = 215,78.\end{aligned}$$

Примем: $\Pi^{20} = 215,78_{-0,37}$.

$$Z_4^{30}_{\max} = Z_4^{30}_{\min} + \sum T = 0,05 + 0,37 + 0,41 + 0,09 = 0,92.$$

Цепь 7. $[Z_4^{20}] = A^{10} - H^{10} - \Pi^{20}$.

Известно: $Z_4^{20}_{\min} = 0,4$, $A^{10} = 399,86_{-0,36}$, $TH^{10} = 1,46$,
примем: $\Delta_{\text{ВН}}^{10} = 0$, $\Delta_{\text{НН}}^{10} = -1,46$, $\Pi^{20} = 215,78_{-0,37}$.

$$\begin{aligned}[Z_4^{20}]_{\min} &= A^{10}_{\min} - H^{10}_{\max} - \Pi^{20}_{\max}. \\ H^{10}_{\max} &= A^{10}_{\min} - \Pi^{20}_{\max} + Z_4^{20}_{\min} = \\ &= 399,5 - 215,78 + 0,4 = 184,32. \\ H^{10}_{\min} &= H^{10}_{\max} - TH^{10} = 184,32 - 1,46 = 182,86.\end{aligned}$$

Примем: $H^{10} = 184,32_{-1,46}$.

$$Z_4^{20}_{\max} = Z_4^{20}_{\min} + \sum T = 0,4 + 0,36 + 1,46 + 0,37 = 2,59$$

Цепь 8. $[Z_2^{30}] = C^0 + H^{10} - P^{30}$.

Известно: $Z_2^{30}_{\min} = 0,4$, $TC^0 = 3,1$,
примем: $\Delta_{\text{ВС}}^0 = 2$, $P^{30} = 280,05_{-0,4}$.

$$\begin{aligned}[Z_2^{30}]_{\min} &= C^0_{\min} + H^{10}_{\min} - P^{30}_{\max}. \\ C^0_{\min} &= Z_2^{30}_{\min} - H^{10}_{\max} + P^{30}_{\max} = \\ &= 0,4 - 182,86 + 280,05 = 97,59. \\ C^0_{\max} &= C^0_{\min} + TC^0 = 97,59 + 3,1 = 100,69.\end{aligned}$$

Примем: $C^0 = 98,69_{-1,1}$.

$$Z_2^{30}_{\max} = Z_2^{30}_{\min} + \sum T = 0,4 + 3,1 + 1,46 + 0,4 = 5,36.$$

Цепь 9. $[Z_1^{10}] = B^0 + C^0 + H^{10} - A^{10}$.

Известно: $Z_1^{10}_{\min} = 0,4$, $TB^0 = 0,36$,
примем: $\Delta_{\text{ВВ}}^0 = 2,4$, $\Delta_{\text{НВ}}^0 = -1,2$, $H^{10} = 184,32_{-1,46}$,

B^0 и C^0 компенсирующие размеры, поэтому согласно правилу 14 [1, с. 31] заменим их одним размером с допуском одного из них:

$$B^0 + C^0 = \Pi^0, \quad T\Pi^0 = TC^0 = 3,6, \quad \Delta_{\text{ВЛ}}^0 = 2,4, \quad \Delta_{\text{НЛ}}^0 = -1,2.$$

$$C^0 = 98,69^{+2}_{-1,1}, A^{10} = 399,86_{-0,36}.$$

$$[Z_1^{10}]_{\min} = \Gamma^0_{\min} + H^0_{\min} - A^{10}_{\max}.$$

$$\Gamma^0_{\min} = Z_1^{10}_{\min} - H^{10}_{\min} + A^{10}_{\max} = 0,4 - 182,86 + 399,86 = 217,4.$$

$$\Gamma^0_{\max} = \Gamma^0_{\min} + TB^0 = 217,4 + 3,6 = 221.$$

Примем: $\Gamma^0 = 218,6^{+2,4}_{-1,2}$

$$\Gamma^0_{\text{ном}} = B^0_{\text{ном}} + C^0_{\text{ном}}.$$

$$B^0_{\text{ном}} = \Gamma^0_{\text{ном}} - C^0_{\text{ном}} = 218,6 - 98,69 = 119,91.$$

Примем: $B^0 = 119,91^{+2,4}_{-1,2}$.

$$Z_1^{10}_{\max} = Z_1^{10}_{\min} + \sum T = 0,4 + 3,6 + 1,46 + 0,36 = 5,82.$$

$$\underline{\text{Цепь 10. }} [Z_6^{10}] = A^0 - B^0 - C^0 - H^0.$$

Известно $Z_6^{10}_{\min} = 0,4$, $TA^0 = 5$,

примем $\Delta VA^0 = 3,3$, $\Delta HA^0 = -1,7$, $H^{10} = 184,32_{-1,46}$;

$$C^0 = 98,69^{+2}_{-1,1}; B^0 = 119,91^{+2,4}_{-1,2}.$$

Размеры A^0, B^0, C^0 – компенсирующие, поэтому примем

$$A^0 - B^0 - C^0 = H^0 \text{ и } TH^0 = TB^0 = 3,6; \Delta VH^0 = 2,4; \Delta HH^0 = -1,2.$$

$$[Z_6^{10}]_{\min} = H^0_{\min} - H^{10}_{\max},$$

$$H^0_{\min} = Z_6^{10}_{\min} + H^{10}_{\max} = 0,4 + 184,32 = 184,72,$$

$$H^0_{\max} = H^0_{\min} + TH^0 = 184,72 + 3,6 = 188,32.$$

Примем: $H^0 = 185,92^{+2,4}_{-1,2}$

$$Z_6^{10}_{\max} = Z_6^{10}_{\min} + \sum T = 0,4 + 5 + 1,46 = 6,86.$$

$$A^0 - B^0 - C^0 = H^0, A^0 = H^0 + B^0 + C^0 = 185,92 + 119,91 + 98,69 = 404,52.$$

Примем $A^0 = 404,52^{+3,3}_{-1,7}$.

Б. Расчёт радиальных операционных размеров.

(7 уравнений – 7 неизвестных номиналов).

$$\underline{\text{Цепь 1. }} [E] = E^{20} + \alpha_7.$$

Известно: $E = 50_{-0,23}$; $TE^{20} = 0,11$;

примем: $\Delta BE^{20} = 0$, $\Delta HE^{20} = -0,11$; $\alpha_7 = 0^{+0,03}$.

$$[E]_{\min} = [E] + \alpha_7_{\min} = 49,77 - 0 = 49,77.$$

$$E^{20}_{\max} = E^{20}_{\min} + TE^{20} = 49,77 + 0,11 = 49,88.$$

Примем: $E^{20} = 49,88_{-0,11}$.

$$\underline{\text{Цепь 2. }} [\Gamma] = \Gamma^{20} + \alpha_9.$$

Известно: $\Gamma = 30_{-0,2}$; $T\Gamma^{20} = 0,095$,

примем: $\Delta B\Gamma^{20} = 0$, $\Delta H\Gamma^{20} = -0,095$, $\alpha_9 = 0^{+0,03}$.

$$[\Gamma]_{\min} = \Gamma^{20}_{\min} + \alpha_9_{\min}.$$

$$\Gamma^{20}_{\min} = [\Gamma]_{\min} + \alpha_9_{\min} = 29,8 - 0 = 29,8.$$

$$\Gamma^{20}_{\max} = \Gamma^{20}_{\min} + T\Gamma^{20} = 29,8 + 0,035 = 29,895.$$

Примем: $\Gamma^{20} = 29,895_{-0,095}$.

$$\underline{\text{Цепь 3. }} [\Pi] = \Pi^{40} + \alpha_{11}.$$

Известно: $\Pi = 45 \pm 0,2$, $T\Pi^{40} = 0,37$,

примем: $\Delta B\Pi^{40} = 0,185$. $\Delta H\Pi^{40} = -0,185$, $\alpha_{11} = 0^{+0,03}$.

$$[\Pi]_{\min} = \Pi^{40}_{\min} + \alpha_{11\min}.$$

$$\Pi^{40}_{\min} = [\Pi]_{\min} - \alpha_{11\min} = 44,8 - 0 = 44,8.$$

$$\underline{\Pi}^{40}_{\max} = \underline{\Pi}^{40}_{\min} + T\Pi^{40} = 44,8 + 0,37 = 45,17.$$

Примем: $\underline{\Pi}^{40} = 44,985 \pm 0,185$.

$$\underline{\text{Цепь 4.}} [Z_8^{60}] = \alpha_8 + \Delta^{30} - (12^{10}8^{30}) - (12^{10}8^{60}) - \Delta^{60}.$$

Известно: $Z_8^{60}_{\min} = 0,05$, $\alpha_8 = 0^{+0,03}$, $T\Delta^{30} = 0,11$,

примем: $\Delta_B \Delta^{30} = 0$, $\Delta_H \Delta^{30} = -0,11$, $\Delta^{60} = 40 - 0,03$,

$$(12^{10}8^{30}) = 0,08, (12^{10}8^{60}) = 0,02.$$

$$[Z_8^{60}]_{\min} = \alpha_8_{\min} + \Delta^{30}_{\min} - (12^{10}8^{30})_{\max} - (12^{10}8^{60})_{\max} - \Delta^{60}_{\max} \\ \Delta^{30}_{\min} = Z_8^{60}_{\min} - \alpha_8_{\min} + (12^{10}8^{30})_{\max} + (12^{10}8^{60})_{\max} + \Delta^{60}_{\max} = \\ = 0,05 - 0 + 0,08 + 0,02 + 40 = 40,15.$$

$$\Delta^{30}_{\max} = \Delta^{30}_{\min} + T\Delta^{30} = 40,15 + 0,11 = 40,26.$$

Примем: $\underline{\Delta^{30}} = 40,26_{-0,11}$.

$$Z_8^{60}_{\max} = Z_8^{60}_{\min} + \sum T = 0,05 + 0,11 + 0,08 + 0,02 + 0,03 = 0,3.$$

$$\underline{\text{Цепь 5.}} [Z_8^{30}] = \Delta^0 - \Delta^{30} - (12^{10}8^{30}) - (12^{10}8^0).$$

Известно: $Z_8^{30}_{\min} = 0,4$, $T\Delta^0 = 1,55$,

примем: $\Delta_B \Delta^0 = 1$, $\Delta_H \Delta^0 = -0,55$, $\Delta^{30} = 40,26_{-0,11}$,

$$(12^{10}8^{30}) = 0,08, (12^{10}8^0) = 0,2.$$

$$[Z_8^{30}]_{\min} = \Delta^0_{\min} - \Delta^{30}_{\max} - (12^{10}8^{30})_{\max} - (12^{10}8^0)_{\max} \\ \Delta^0_{\min} = Z_8^{30}_{\min} + \Delta^{30}_{\max} + (12^{10}8^{30})_{\max} + (12^{10}8^0)_{\max} = \\ = 0,4 + 40,26 + 0,08 + 0,2 = 40,94.$$

$$\Delta^0_{\max} = \Delta^0_{\min} + \sum T \Delta^0 = 40,94 + 1,55 = 42,49.$$

Примем: $\underline{\Delta^0} = 41,49^{+1}_{-0,55}$.

$$Z_8^{30}_{\max} = Z_8^{30}_{\min} + \sum T = 0,4 + 1,55 + 0,11 + 0,2 + 0,2 = 2,46.$$

$$\underline{\text{Цепь 6.}} [Z_9^{20}] = \Gamma^0 - \Gamma^{20} - (12^{10}9^{20}) - (12^{10}9^0).$$

Известно: $Z_9^{20}_{\min} = 0,4$, $T\Gamma^0 = 1,55$,

примем: $\Delta_B \Gamma^0 = 1$, $\Delta_H \Gamma^0 = -0,55$, $\Gamma^{20} = 29,895_{-0,095}$,

$$(12^{10}9^{20}) = 0,06, (12^{10}9^0) = 0,2.$$

$$[Z_9^{20}]_{\min} = \Gamma^0_{\min} + \Gamma^{20}_{\max} + (12^{10}9^{20})_{\max} + (12^{10}9^0)_{\max} = \\ = 0,4 + 29,895 + 0,06 + 0,2 = 30,555.$$

$$\Gamma^0_{\max} = \Gamma^0_{\min} + T\Gamma^0 = 30,555 + 1,55 = 32,105.$$

Примем: $\underline{\Gamma^0} = 31,105^{+1}_{-0,55}$.

$$Z_9^{20}_{\max} = Z_9^{20}_{\min} + \sum T = 0,4 + 1,55 + 0,095 + 0,06 + 0,2 = 2,305.$$

$$\underline{\text{Цепь 7.}} [Z_7^{20}]_{\min} = E^0 - E^{20} - (12^{10}7^{20}) - (12^{10}9^0) - (7^09^0).$$

Известно: $Z_7^{20}_{\min} = 0,4$, $TE^0 = 1,8$, $E^{20} = 49,88_{-0,11}$,

$$(12^{10}7^{20}) = 0,08, (12^{10}9^0) = 0,2, (7^09^0) = 0,6.$$

$$[Z_7^{20}]_{\min} = E^0_{\min} - E^{20}_{\max} - (12^{10}7^{20})_{\max} - (12^{10}9^0)_{\max} - (7^09^0)_{\max}.$$

$$E^0_{\min} = Z_7^{20}_{\min} + E^{20}_{\max} + (12^{10}7^{20})_{\max} + (12^{10}9^0)_{\max} + (7^09^0)_{\max} =$$

$$= 0,4 + 49,88 + 0,08 + 0,2 + 0,6 = 51,16.$$

$$E^0_{\max} = E^0_{\min} + TE^0 = 51,16 + 1,8 = 52,96.$$

Примем: $\underline{E^0} = 51,7^{+1,2}_{-0,6}$.

$$Z_7^{20}_{\max} = Z_7^{20}_{\min} + \sum T = 0,4 + 1,8 + 0,11 + 0,08 + 0,2 + 0,6 = 3,19.$$

Пример 2. Выполнить размерный анализ технологического процесса изготовления корпусной (трёхмерной) детали (рис. 18).

1. Принимаем в качестве заготовки отливку в земляную форму (см. эскиз в маршруте на рис.19).

2. Намечаем маршрут обработки детали по операциям (см. рис. 19). Допуски на операционные размеры и достигаемые значения пространственных отклонений назначаются по таблицам (см. прил. 1, 2, 3, 4, 5).

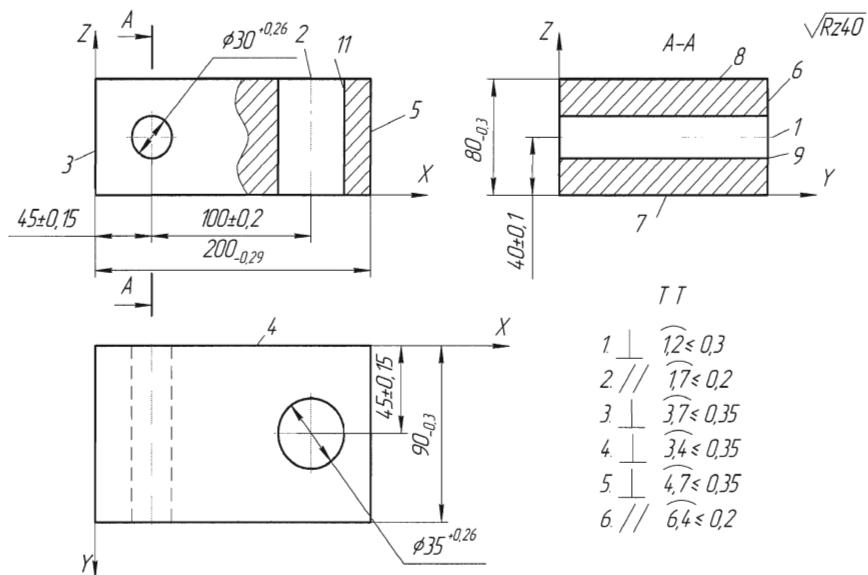


Рис. 18. Чертёж корпусной (трёхмерной) детали

В плане обработки допустимые пространственные отклонения представлены в координатном виде на каждой операции с указанием направления их измерения, для чего на эскизе детали нанесена система координат X, Y, Z.

3. Вычерчиваем размерные схемы для 3-х проекций (рис. 20-22). Так как каждая проекция детали имеет не только обработанные плоскости, но и цилиндрические поверхности, определяемые размерами и положением их осей, построены комбинированные схемы. В этих схемах отражены как изменения линейных размеров, так и диаметральных, вместе с возникающими при их обработке несоосностями.

4. Строим размерную схему пространственных отклонений (рис. 23).

Размерная схема пространственных отклонений, включающая в себя непараллельность и неперпендикулярность плоскостей и осей цилиндрических поверхностей, состоит из ряда параллельных вертикальных линий, имитирующих имеющиеся у детали плоскости и оси по всем трём проекциям, разделённые между собой большим промежутком и знаком $\angle 90^\circ$.

Допустимые пространственные отклонения на каждой операции простираются в виде горизонтальных линий, связывающие соответствующие поверхности и оси детали. Связи, проведённые между вертикальными линиями, лежащими в одной проекции, означают непараллельность, а связи между вертикальными, расположенным в разных проекциях – неперпендикулярность.

<i>Nº опер</i>	<i>Эскизы</i>	<i>Допуски и ТТ</i>
0 Загот.		$TA^\circ = 2,0$ $TB^\circ = 1,6$ $TH^\circ = 1,6$ $\perp 3^\circ 4^\circ (xy) \leq 1,5$ $\perp 7^\circ 4^\circ (yz) \leq 1,5$ $\perp 7^\circ 3^\circ (xz) \leq 1,5$
10 Фрез.		$TH^\circ = 0,35$ $\parallel 7^\circ 8^\circ (xz) \leq 0,08$ $\parallel 7^\circ 8^\circ (yz) \leq 0,08$
20 Фрез.		$TH^\circ = 0,19$ $\parallel 8^\circ 7^\circ (xz) \leq 0,08$ $\parallel 8^\circ 7^\circ (yz) \leq 0,08$

Рис. 19. План обработки корпусной детали

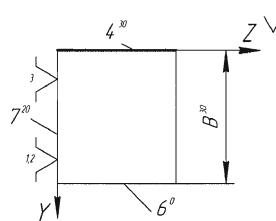
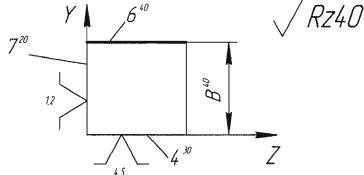
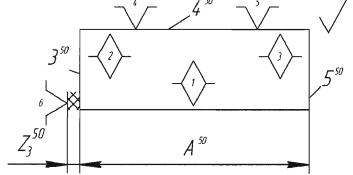
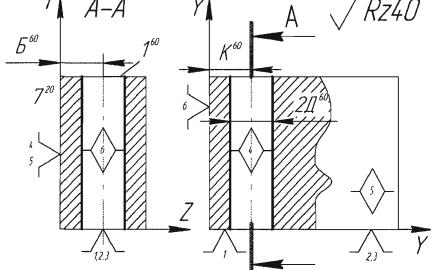
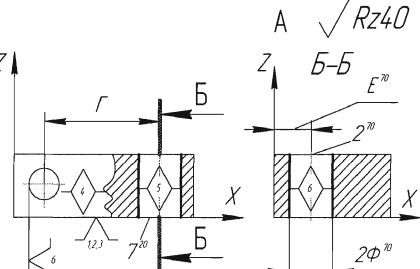
<i>Nº oper.</i>	<i>Эскизы</i>	<i>Допуски и ТТ</i>
30 <i>Фрез.</i>		$TB^{30} = 0,35$ $\perp 4^{30} 7^{20} yz \leq 0,08$ $\parallel 4^{30} 6^0 xy \leq 0,08$
40 <i>Фрез.</i>		$TB^{40} = 0,22$ $\perp 6^{40} 7^{20} yz \leq 0,05$ $\parallel 6^{40} 4^{30} xy \leq 0,05$
50 <i>Фрез.</i>		$TA^{50} = 0,29$ $TZ_3^{50} = 0,5$ $\perp 5^{50} 7^{20} xz \leq 0,05$ $\perp 5^{50} 4^{20} yx \leq 0,05$
60 <i>Свер.</i>		$TD^{60} = 0,13$ $TB^{60} = 0,2$ $\perp 1^{60} 4^{30} xy \leq 0,08$ $\perp 1^{60} 4^{30} yz \leq 0,08$ $TK^{60} = 0,2$
70 <i>Свер.</i>		$T\phi^{70} = 0,13$ $TE^{70} = 0,2$ $TR^{70} = 0,4$ $\perp 2^{70} 7^{20} yz \leq 0,08$ $\perp 2^{50} 7^{20} xz \leq 0,08$

Рис. 19. Окончание

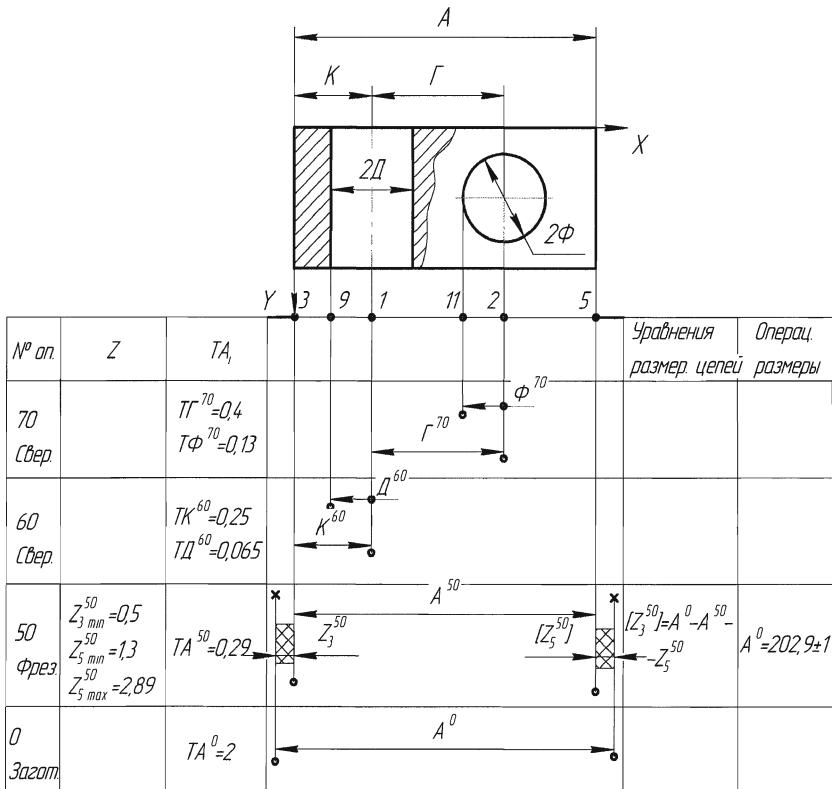


Рис. 20. Размерная схема по направлению оси X (1-я проекция)

Непараллельность двух поверхностей всегда следует проставлять двумя связями с указанием сечения, в которых эта параллельность измеряется. Так, в схеме пространственных отклонений на 10-й операции проставлено по две связи между плоскостями, обозначающие:

$//8^{10}7^0(Y,Z)$ – допустимая непараллельность плоскостей в сечении, параллельном плоскости Y,Z.

$//8^{10}7^0(X,Z)$ – непараллельность этих же плоскостей, но измеренная в сечении, параллельном плоскости X,Z.

Для обозначения заданной техническими требованиями допустимой неперпендикулярности оси отверстия 1 относительно плоскости 4 в любом направлении в схеме пространственных отклонений также должны быть показаны 2 связи, означающие соответственно:

$\perp 1^{60}2^{40}(X,Y)$ – допустимую неперпендикулярность оси отверстия 1 относительно плоскости 4, измеренную в сечении параллельном плоскости X,Y;

$\perp 1^{60}2^{40}(Y,Z)$ – неперпендикулярность этой же оси отверстия 1 относительно плоскости 4, в сечении Y,Z.

Указанные направления при простановке пространственных отклонений значительно облегчает размерные расчёты, и поэтому следует считать его обязательным при размерном анализе корпусных деталей. В контур размерной цепи (для пространственных отклонений) включаются размеры, имеющие только одинаковые индексы направления.

5. Вносим в схемы чертёжные размеры, которые непосредственно не выполняются:

$$[\perp 1,2(y,z)]; [\//1,7(x,y)]; [\perp 3,7(x,y)]; [\perp 3,4(x,y)].$$

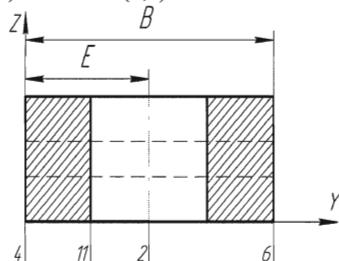
6. Производим обход всех размерных контуров и записываем уравнения всех размерных цепей в графу 5 схем (см. рис. 20-23). Уравнения размерных цепей пространственных отклонений следующие:

$$[\perp 1,2(y,z)] = \perp 4^{30} 1^{60}(y,z) + \perp 4^{30} 7^{20}(y,z) + \perp 2^{70} 7^{20}(y,z);$$

$$[\//1,7(y,z)] = \perp 4^{30} 1^{60}(y,z) + \perp 4^{30} 7^{20}(y,z);$$

$$[\perp 3,7(x,z)] = //3^{50} 5^{50}(x,z) + \perp 5^{50} 7^{20}(x,z);$$

$$[\perp 3,4(x,z)] = //3^{50} 5^{50}(x,z) + \perp 5^{50} 4^{30}(x,z).$$



<i>Nº опер</i>	<i>Z</i>	<i>TA</i>		<i>Уравнения разм. цепей</i>	<i>Операц. размеры</i>
70 <i>Сверл.</i>		$T\phi^{\eta}=0,13$ $TE^{\eta}=0,28$			
40 <i>Фрез</i>	$Z_{\text{сп}}^{\eta}=0,5$	$TB^{\eta}=0,3$		$[Z_6^40]=B^{\eta}-B^{\eta}$	$B^{\eta}=9165_{-15}$
30 <i>Фрез.</i>	$Z_{\text{сп}}^{\eta}=0,5$	$TB^{\eta}=0,3$		$[Z_4^30]=B^{\eta}-B^{\eta}$	$B^{\eta}=9295_{-0,8}$
0 <i>Загот</i>		$TB^{\eta}=1,15$			

Рис. 21. Размерная схема по направлению оси Y (2-я проекция)

7. Определяем операционные допуски и вносим их в графу 3 размерных схем.
 8. Проверяем, обеспечиваются ли точность замыкающих звеньев – чертёжных размеров.

$$[\perp 1,2(y,z)] \geq \perp 4^{30} 1^{60}(y,z) + \perp 4^{30} 7^{20}(y,z) + \perp 2^{70} 7^{20}(y,z);$$

$0,3 > 0,08 + 0,08 + 0,08 = 0,24$ – обеспечивается;

$$[\parallel 1,7(y,z)] \geq \parallel 4^{30} 1^{60}(y,z) + \parallel 4^{30} 7^{20}(y,z);$$

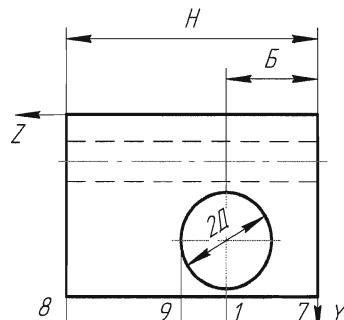
$0,2 > 0,08 + 0,08 = 0,16$ – обеспечивается;

$$[\perp 3,7(x,z)] = \perp 3^{50} 5^{50}(x,z) + \perp 5^{50} 7^{20}(x,z),$$

$0,35 > 0,29 + 0,05 = 0,34$ – обеспечивается;

$$[\perp 3,4(x,z)] = \perp 3^{50} 5^{50}(x,z) + \perp 5^{50} 4^{30}(x,z),$$

$0,35 > 0,29 + 0,05 = 0,34$ – обеспечивается.



<i>Nº oper</i>	<i>Z</i>	<i>TA_i</i>			<i>Уравнения размер цепей</i>	<i>Операц. размеры</i>
60 Сверл.		$T\Delta^{60} = 0,28$ $T\varDelta^{60} = 0,13$		Δ^{60}		
20 Фрез.	$Z_7^{20} = 0,5$	$TH^{20} = 0,27$		H^{20}	$[Z_7^{20}] = H^{10} - H^{20}$	$H^{10} = 81,65_{-1,15}$
10 Фрез.	$Z_8^{10} = 0,5$	$TH^{10} = 1,15$		H^{10}	$[Z_8^{10}] = H^0 - H^{10}$	$H^0 = 32,95 \pm 0,8$
0 Загот.		$TH^0 = 1,6$		H^0		

Рис. 22. Размерная схема по направлению оси Z (3-я проекция)

9. Определяем Z_{\min} и вносим их значения в графу 2 размерных цепей.
 10. Производим последовательно расчёт размерных цепей.

Проекция 1:

$$\begin{aligned}[Z_3^{50}] &= A^0 - Z_5^{50} - A^{50}; \\ Z_3^{50} &= A_{\min}^0 - Z_5^{50} \max - A^{50} \max; \\ A_{\min}^0 &= Z_3^{50} \min + Z_5^{50} \max + A^{50} \max = 0,5 + 1,4 + 200 = 201,9; \\ A^0 &= 202,9 \pm 1. \end{aligned}$$

Проекция 2:

$$\begin{aligned}[Z_6^{40}] &= B^{30} - B^{40}; \quad Z_6^{40} \min = B^{30} \min - B^{40} \max; \\ B^{30} &= B^{40} \max + Z_6^{40} \min = 90 + 0,5 = 90,5; \\ B^{30} \max &= 90,5 + 1,15 = 91,65; \\ B^{30} &= 91,65 \pm 1,15. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[Z_4^{30}] &= B^0 - B^{30}; \quad Z_4^{30} \min = B^0 \min - D^{30} \max; \\ B^0 \min &= Z_4^{30} \min + B^{30} \max = 0,5 + 91,65 = 92,15; \\ B^0 &= 92,95 \pm 0,8. \end{aligned}$$

Проекция 3:

$$\begin{aligned}[Z_7^{20}] &= H^{10} - H^{20}; \quad Z_7^{20} \min = H^{10} \min - H^{20} \max; \\ H^{10} \min &= Z_7^{20} \min + H^{20} \max = 0,5 + 80 = 80,5; \\ H^{10} \max &= 80,5 + 1,15 = 81,65; \\ H^{10} &= 81,65 \pm 1,15. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[Z_8^{20}] &= H^0 - H^{10}; \quad Z_8^{20} \min = H^0 \min - H^{10} \max; \\ H^0 \min &= 0,5 + 81,65 = 82,15; \\ H^0 &= 82,95 \pm 0,8. \end{aligned}$$

Следует иметь в виду, что при расчёте радиусов (диаметров) на промежуточных переходах и в заготовке в разных проекциях могут быть получены разные значения, так как в разных проекциях допускаемые колебания координат отверстий различны. Окончательно в технологический процесс принимается наименьшее значение.

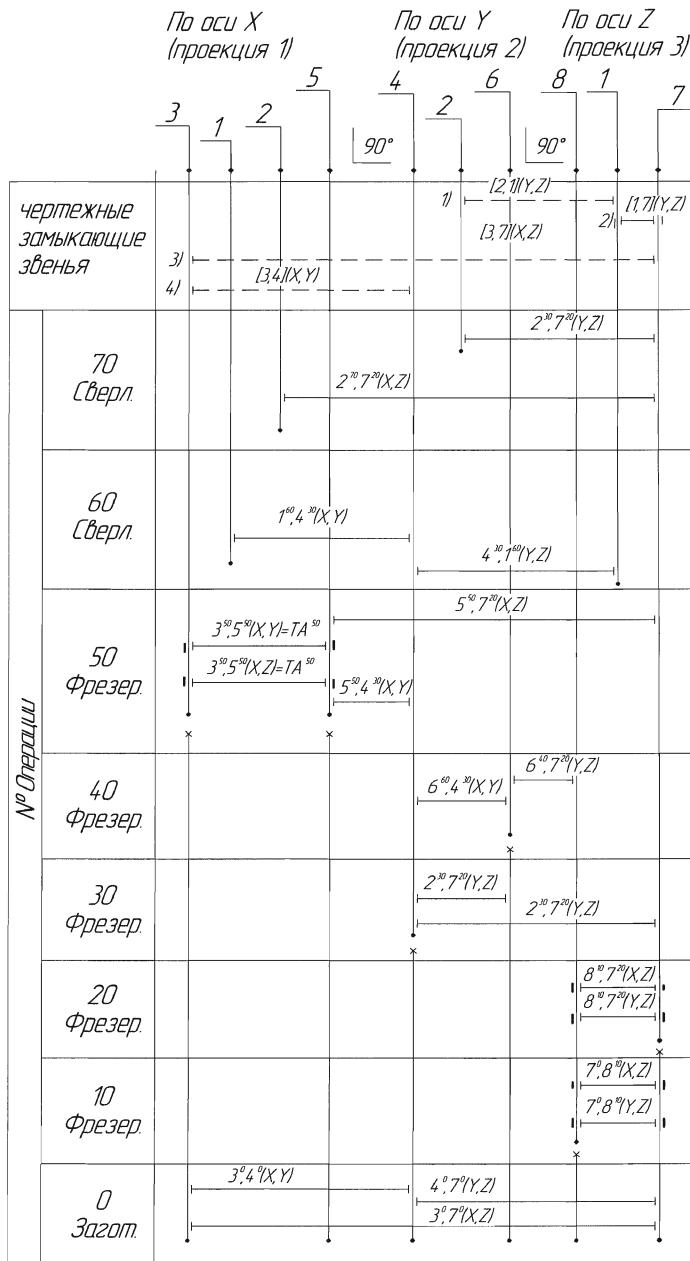


Рис. 23. Схема пространственных отклонений поверхностей корпусной детали

5. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Расчёты размерных цепей, выполняемые при проектировании технологических процессов, являются весьма трудоёмким процессом. Использование ЭВМ позволяет повысить скорость расчётов, уменьшает количество ошибок, обеспечивает повышение производительности труда технологов. Применение ЭВМ при размерном анализе даёт возможность выполнить расчёты по нескольким вариантам технологического процесса и выбрать эффективный для данных условий производств.

На кафедре ТПМ Миасского филиала ЮУрГУ последовательно разработано несколько программ по расчёту размерных цепей на ЭВМ.

Появление современных компьютеров дало возможность по-новому подойти к использованию вычислительной техники в размерных расчётах. Появилась возможность вести размерный анализ в диалоговом режиме, то есть технолог в этом случае стал активно участвовать в процессе расчётов и вводить необходимые корректизы. Кроме того, в памяти ЭВМ может храниться большое количество справочной информации, необходимой для проведения размерного анализа: таблицы точности, составляющие припуска на обработку, данные о заготовках и др. Всё это может быть выведено в любой момент по команде на дисплей и использовано в процессе расчётов.

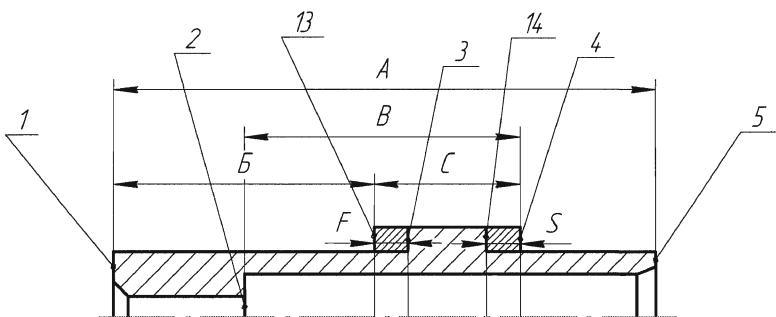
Для того, чтобы провести размерный анализ на ЭВМ, технолог должен разработать технологический процесс и построить его размерную схему, которая может быть выполнена для различных проекций детали. После этого необходимо за- кодировать информацию для ввода её в машину.

5.1. Подготовка исходной информации и её кодирование

При расчёте размерных цепей на ЭВМ целесообразно использовать не буквенно обозначение размеров, а ввести специальный цифровой код. Один из наиболее простых способов кодирования состоит в том, что код каждого размера представляется в виде двух чисел, соединённых знаком “–” (тире). Например, 10–20, 20–70. Числа, составляющие код размера, являются номерами поверхностей (или других геометрических элементов), связанных между собой данным размером.

Кодирование поверхностей и формирование кода размера выполняются с использованием схемы размерных связей. Если схема построена с расположением операций в направлении обратном ходу технологического процесса (рис. 24), то есть в верхней части помещается преобразованный чертёж детали, то кодирование выполняется следующим образом.

Все поверхности детали и другие геометрические элементы (включая границы слоёв хромирования, цементации и т.п.) нумеруются, как обычно, порядковыми числами. Допускается простановка произвольных чисел, например, если при кодировании не были учтены какие-либо поверхности, которые в последствии



N^o оп.		10	20	130	30	140	40	50
120	Хромир.							
110	Зенкер.							
100	Шлифов.							
90	Шлифов.							
70	Термич.							
60	Токар.							
50	Токар.							
40	Сверлен.							
30	Токар.							
20	Токар.							
10	Фрезер центр.							
0	Заготов.							
		11	33			43	51	

Technical notes below the table:

- Row 120: Shows a horizontal slot [B] with width F^{120} and a vertical slot [C].
- Row 110: Shows a horizontal slot [Z₂¹¹⁰] with width E^{110} and a vertical slot [B].
- Row 100: Shows a horizontal slot [Z₃¹⁰⁰] with width E^{100} and a vertical slot [C].
- Row 90: Shows a horizontal slot [Z₃⁹⁰] with width E^{90} and a vertical slot [C].
- Row 70: Shows a horizontal slot [Z₃⁷⁰] with width E^{70} and a vertical slot [C].
- Row 60: Shows a horizontal slot [Z₃⁶⁰] with width E^{60} and a vertical slot [C].
- Row 50: Shows a horizontal slot [Z₃⁵⁰] with width E^{50} and a vertical slot [C].
- Row 40: Shows a horizontal slot [Z₃⁴⁰] with width E^{40} .
- Row 30: Shows a horizontal slot [Z₃³⁰] with width E^{30} and a vertical slot [C].
- Row 20: Shows a horizontal slot [Z₃²⁰] with width E^{20} and a vertical slot [C].
- Row 10: Shows a horizontal slot [Z₁¹⁰] with width E^{10} and a vertical slot [C].
- Row 0: Shows a horizontal slot [Z₅¹⁰] with width E^0 and a vertical slot [C].

Рис. 24. Размерная схема технологического процесса

оказались необходимыми для размерного анализа, им можно присвоить любые числа, неиспользованные при кодировании по данной схеме (например, числа 13 и 14 на рис. 24). Код поверхности детали получится путём приписывания к цифре, обозначающей номер поверхности, нуля справа. Так, поверхностям детали с номерами 1, 2, 13 присваивается код 10, 20, 130. Размеры, координирующие расположение этих поверхностей, обозначаются цифрами, соответствующими коду соединяемых размерной линией поверхностей, например: [Б] = 10 –130, [С] = 130–40 и т.д.

Поверхности, получающиеся на схеме размерных связей в результате наложения слоя припуска на поверхность детали, обозначаются числом на единицу больше кодового числа поверхности детали. То есть поверхность детали, кодированная числом 10, в результате наложения слоя припуска получает номер 11, поверхность 20 – номер 21 и т.д. Если поверхность заготовки обрабатывается несколько раз, то при каждом наложении слоя припуска поверхность обозначается числами, увеличенными на единицу, например: 30, 31, 32.

Поверхность заготовки получает кодовый номер, который зависит от количества слоя материала, снимаемого при обработке с данной поверхности до получения окончательных размеров детали. При кодировании смещение поверхности, происходящее в результате деформации детали при механической или термических обработках, рассматривается как появление новой поверхности, аналогично образованию новых поверхностей при снятии слоя припуска.

Пример кодирования размеров для схемы, построенной “от детали”, приведён на рис. 24.

5.2. Классификация размерных связей и звеньев цепей

При составлении размерных схем и подготовке исходных данных кодирование размеров производится в соответствии с принятой классификацией. Предусматривается разделение всех видов звеньев на 8 групп.

0-я – замыкающие звенья пространственные отклонения, являющиеся чертёжными параметрами. Размерная информация: Amin, Amax.

1-я – замыкающие звенья без регламентированных предельных значений. О звеньях этой группы нет никакой размерной информации.

2-я – замыкающие звенья с регламентированными предельными значениями. Это замыкающие звенья, которые являются чертёжными размерами. Размерная информация: Amin, Amax.

3-я – замыкающие звенья с известным минимальным значением. В размерных схемах это звенья припуски. Размерная информация: Amin.

4-я – составляющие звенья – промежуточные операционные размеры с известными предельными отклонениями и определяемым в процессе расчёта цепей номиналом. Размерная информация: Δ_{VA} , Δ_{NA} .

5-я – составляющие звенья – промежуточные операционные размеры с известным номиналом и предельными отклонениями. Размерная информация: Anom, Δ_{VA} , Δ_{NA} .

6-я – составляющие звенья – окончательные размеры с известным номиналом и предельными отклонениями. Размерная информация: Аном, $\Delta_{\text{ВА}}$, $\Delta_{\text{НА}}$.

7-я – составляющие звенья, являющиеся в размерных цепях пространственными отклонениями (несоосность, непараллельность и т. д.). Размерная информация: $\Delta_{\text{ВА}}$, $\Delta_{\text{НА}}=0$, $\text{Аном}=0$.

Таким образом, с помощью цифр от 0 до 7 можно охарактеризовать любое звено, имеющееся в размерной схеме.

5.3. Заполнение информационных карт

Для ввода исходных данных в машину необходимо подготовить информационную карту для замыкающих и составляющих звеньев.

Информационная карта для замыкающих звеньев

Деталь №	Наименование
Карту составил	Группа

Список исходных данных (замыкающие звенья)

№ п/п	Группа	Код звена		Δ_{min}	Δ_{max}
		начало	конец		

Информационная карта для составляющих звеньев

Список исходных данных (составляющие звенья)

№ п/п	Группа	Код звена		$\Delta_{\text{ВА}}$	$\Delta_{\text{НА}}$	$\Delta_{\text{ном}}$
		начало	конец			

При записи размеров указываются признак группы, числовой код, а затем в соответствующих графах записывается количественная информация.

Для правильной подготовки исходных данных необходимо помнить, что:

- код звена берётся со схемы размерного анализа в направлении слева направо,
- знак плюс (+) не ставится,
- вместо неизвестной размерной информации заносится ноль,
- слева от карты проставляются порядковые номера звеньев (составляющие звенья нумеруются тоже с “1”). Номера звеньев впоследствии в машину не вводятся.

Конкретный пример заполнения информационных карт рассмотрен ниже в разделе 5.5.

5.4. Порядок работы на машине

Работа по программе построена в диалоговом режиме. Машина сама задаёт необходимые вопросы об интересующей её информации. Например, “Количество замыкающих звеньев”, “Замыкающие звенья”, “Составляющие звенья” и др. При появлении надписи “Замыкающие звенья” или “Составляющие звенья” нужно вводить построчно последовательно через запятую (,) данные из информационных карт. После ввода информации об одном звене делается пробел.

Введённую информацию можно по желанию скорректировать на любой стадии ввода.

После ввода последнего составляющего звена машина приступает к формированию размерных цепей и выводу их на дисплей. Звенья в уравнениях обозначены их порядковыми номерами из информационных карт. Например, $2 = 2 - 4 + 1$. Число в левой части равенства является порядковым номером замыкающего звена (2), а числа в правой части – порядковыми номерами составляющих звеньев (2,4,1).

После формирования всех уравнений (это возможно при отсутствии ошибок проектирования технологического процесса и ввода) машина приступает к решению размерных цепей. Результаты расчётов выводятся на дисплей в виде A_{min} и A_{max} для замыкающих звеньев и Δ_{VA} , Δ_{nA} и Δ_{n0} – для составляющих. Кроме этого, для замыкающих звеньев группы “0” и “2” (чертёжные размеры) подсчитывается и выводится на дисплей “запас=...”, который является разностью между чертёжным максимальным значением замыкающего звена и соответствующим фактическим значением по расчёту. Отрицательное значение запаса говорит о невозможности уложиться в допуск данного звена по рассматриваемому варианту.

Решение операционных размерных цепей машина может вести методом “ $max-min$ ” и вероятностным методом.

5.5. Пример заполнения информационных карт

Рассмотрим пример заполнения информационных карт для размерной схемы технологического процесса, приведённого на рис. 24.

Первым среди замыкающих звеньев записано звено [Б]. Это звено относится к замыкающим звеньям с известными предельными значениями, поэтому в карту заносим “2” (группа); “10”, “130” (код звена); “59, 85” (минимальное значение); “60, 15” (максимальное значение). Для звена [Б] минимальное и максимальное значение берётся с чертежа детали.

Четвёртым среди замыкающих звеньев записано звено [Z_2^{110}]. Оно относится к замыкающим звеньям с известным минимальным значением, поэтому в карту заносим “3” (группа); “20”, “21” (код); “0,2” (минимальное значение); “0” (максимальное значение неизвестно).

В данном случае минимальное значение (0,2) является минимальным припуском, который определяется технологом расчётом или по таблицам.

Таблица 5

Исходные данные замыкающих звеньев

№ п./п.	Группа	Код звена		Amin	Amax
		начало	конец		
1	2	10	130	59,85	60,15
2	2	130	40	24,73	25
3	2	20	40	29,85	30,15
4	3	20	21	0,2	0
5	3	31	30	0,015	0
6	3	140	40	0,3	0
7	3	40	41	0,055	0
8	3	32	31	0,055	0
9	3	41	42	0,08	0
10	3	33	32	0,2	0
11	3	42	43	0,2	0
12	3	11	10	0,2	0
13	3	50	51	0,2	0

Первым среди составляющих звеньев записано звено “F” (величина хромирования). Это звено относится к составляющим звеньям, являющимися окончательными размерами (чертёжными), поэтому для него заносим “6”, “130”, “30”, “0,03” (верхнее отклонение); “0” (нижнее отклонение); “0,03” (номинальное значение). Эта информация берётся с чертежа детали.

Вторым среди составляющих звеньев записано звено “E¹¹⁰” (20–30). Оно является звеном с определяемым в процессе расчёта номиналом. Для него заносим: “4”, “20”, “30”, “0,1” (верхнее отклонение); “-0,1” (нижнее отклонение); “0” (номинал неизвестен). Верхнее и нижнее отклонения назначаются технологом, исходя из средне-экономической точности обработки и вида обрабатываемой поверхности. Информация об остальных звеньях записана в карту аналогично.

Таблица 6

Исходные данные составляющих звеньев

№ п./п.	Группа	Код звена		$\Delta_{\text{ВА}}$	$\Delta_{\text{нA}}$	Aном
		начало	конец			
1	6	130	30	0,03	0	0,03
2	4	20	30	0,1	-0,1	0
3	4	30	40	0	-0,035	0
4	4	10	40	0,06	-0,06	0
5	4	140	41	0,15	0	0
6	4	31	41	0	-0,12	0
7	4	10	41	0,6	-0,6	0
8	4	21	32	0,15	-0,15	0
9	4	35	50	0	-0,23	0
10	4	10	42	0	-0,23	0
11	4	10	33	0,6	-0,6	0
12	6	10	50	0	-0,23	100
13	4	11	33	1	-0,5	0
14	4	33	43	1,3	-0,7	0
15	4	11	51	2	-1	0

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Шероховатость поверхности и квалитеты при различных видах обработки деталей резанием

Вид обработки	Значение параметра Ra, мкм	Квалитеты	
		Экономические	Достижимые
Автоматическая газовая резка	12,5...100	15...17	—
Отрезка	приводной пилой	25* 50(12,5)	15...17
	резцом	25*...100	14...17
	фрезой	25*...50	—
	абразивом	3,2...6,3*	12...15
	Подрезка торцов	3,2* 12,5(0,8)	11...13
Строгание	черновое	12,5*...25	12...14
	чистовое	3,2*...6,3	11...13(10)**
	тонкое	(0,8)...1,6	8...10
Долбление	черновое	25...30	14...15
	чистовое	3,2*...12,5	12...13
Фрезерование цилиндрической фрезой	черновое	25...30	12...14(11)**
	чистовое	3,2*...6,3	11(10)**
	тонкое	1,6	8...9
Фрезерование торцовой фрезой	черновое	6,3...12,5	12...14(11)**
	чистовое	3,2*...6,3(1,6)	11
	тонкое	(0,8)...1,6	8...9
Фрезерование скоростное	черновое	3,2	12...14
	скоростное	0,8...1,6*	11...13
Обтачивание продольной подачей	обдирочное	25...10	15...17
	получистовое	6,3...12,5	12...13
	чистовое	1,6*...3,2(0,8)	7...9
	тонкое (алмазное)	0,4*...0,8(0,2)	6
Обтачивание поперечной подачей	обдирочное	25...100	16...17
	получистовое	6,3...12,5	12...14
	чистовое	3,2*	8...10
	тонкое	(0,4)...1,6	7...9

Продолжение прил. 1

Вид обработки		Значение параметра Ra, мкм	Квалитеты	
			Экономические	Достижимые
Обтачивание скоростное		(0,4)...1,6	11	8...9
Сверление	до 15 мм	6,3...12,5*	12...14****	10...11*****
	св. 15 мм	12,5...25*	12...14****	10...11*****
Рассверливание		6,3...12,5*	12...14****	10...11*****
Зенкерование	черновое (по корке)	12,5...25	12...15	—
	чистовое	3,2*...6,3	10...11	8...9
Растачивание	черновое	50...100	15...17	—
	получистовое	12,5...25	12...14	—
	чистовое	1,6*...3,2(0,8)	8...9	7
	тонкое (алмазное)	0,4*...0,8(0,2)	7	6
Скоростное растачивание		0,4...0,6	8	7
Развёртывание	получистовое	6,3...12,5	9...10	8***
	чистовое	1,6*...3,2	7...8(8)**	—
	тонкое	(0,4)...0,8	7	6***
Протягивание	получистовое	6,3	8...9	—
	чистовое	0,8*...3,2	7...8	—
	отделочное	0,2...0,4	7	6
Зенкерование плоское с направлением (цекование)		6,3...12,5	12	—
Зенкерование угловое (зенкование)		3,2...6,3	—	—
Шабрение	грубое	1...6,3	11	8...9
	тонкое	0,1...0,8	8...9	5...7
Слесарная опиловка		(1,6)...25	8...11	6...7
Зачистка наждачным полотном (после резца и фрезы)		0,2...1,6	8...11	7...8

Продолжение прил. 1

Вид обработки	Значение параметра Ra , мкм	Квалитеты	
		Экономические	Достижимые
Шлифование круглое	получистовое	3,2...6,3	8...11
	чистовое	0,8*...1,6	6...8
	тонкое	0,2*...0,4(0,1)	5 Выше 5-го
Шлифование плоское	получистовое	3,2	8...11
	чистовое	0,88...1,6	6...8
	тонкое	02*...0,3(0,1)	6...7
Прошивание	чистовое	0,4...1,6	7...9
	тонкое	0,05...1,6	6...7
Калибрование отверстий шариком или оправкой	после сверления	0,4...1,6	8...9
	после растачивания	0,4...1,6	7
	после развёртывания	0,05...1,6	7
Обкатывание и раскатывание роликами или шариками при значении параметра Ra исходной поверхности 3,2...12,5 мкм	0,4...1,6	6...9	—
Наклёпывание шариками при значении параметра Ra исходной поверхности 0,8...3,2 мкм	0,2...0,8	—	—
Развальцовывание	чистовое	0,4...1,6	7
	тонкое	0,1...0,2	6
Притирка	чистовая	0,4...3,2	6...7
	тонкая	0,1...1,6	5
Полирование	обычное	0,2...1,6	6
	тонкое	0,05...0,1	5
Доводка	грубая	0,4*	6...7
	средняя	0,1...0,2*	5...6
	тонкая	0,05*	5
	отделочная (зеркальная)	0,012...0,025	— Выше 5-го

Продолжение прил. 1

Вид обработки		Значение параметра Ra, мкм	Квалитеты	
			Экономиче- ские	Дости- жимые
Хонингование	плоскостей	0,1...0,4*	7...8	—
	цилиндров	0,05...0,2*	6...7	6
Лаппингование	предваритель- ное	02...08	6	—
	среднее	0,2	6	—
	тонкое	0,025...0,1	5	—
Суперфиниши- рование	плоскостей	0,2*...0,4(0,05)	5-й и точнее	—
	цилиндров	0,1*...0,4(0,05)		—
Нарезание резьбы	плашкой, метчиком	3,2...12,5***	Ст. 6...8	—
	Резцом, гребёнкой	3,2*...6,3(1,6)	Ст. 6...8	Ст.4...5
Нарезание резьбы фрезой		3,2*...6,3(1,6)	Ст. 8	—
Шлифование резьбы		1,6*...3,2(0,4)	Ст. 4...6	—
Накатывание резьбы роликами		0,4...0,8	Ст. 6...8	4
Скоростное нарезание резьбы (вихревой метод)		0,8...6,3	Ст. 6...8	—
Обработка зубь- ев зубчатых колёс	строгание	3,2*...6,3(1,6)	Ст. 7...10	—
	фрезерование	(1,6)...3,2*	Ст. 7...10	—
	шевингование	0,8*...1,6(0,4)	Ст. 6...7	—
	шлифование	0,4*...0,8	Ст. 4...6	Ст. 3...4
Анодно-механи- ческое разреза- ние заготовок	обычное	25...30	11...30	—
	специальное	6,3...12,5	11	8...9
Анодно-механи- ческое шлифова- ние	черновое	1,6...3,2	6...9	—
	чистовое	0,2...0,8	6...7	—
	притирочное	0,4...0,1	6...7	—
	отделочное	0,05...0,2	5...6	—

Вид обработки	Значение параметра Ra, мкм	Квалитеты	
		Экономические	Достижимые
Электроконтактное сверление	25...100	12...14	—
Электроконтактное разрезание листов	25...50	11...13	—
Электроискровое шлифование	3,2...25	—	—
Электрополированье (в знаменателе значение Ra исходной поверхности)	декоративное	0,4...3,2 1,6...12,5	6...9
	никелевых покрытий	0,4...0,8 1,6...3,2	—
Электромеханическая очистка от окалины	6,3...50	—	—
Электромеханическое точение	обычное	3,2...6,3	6...9
	чистовое	0,8...3,2	6...7
Электромеханическое сглаживание	0,2...0,8	6...7	—
Ультразвуковая обработка твёрдых сплавов	0,2...0,8	—	—

Примечания: В скобках указаны предельно достижимые значения параметра шероховатости Ra.

* Оптимальное значение Ra для данного вида обработки.

** В скобках приведена экономическая точность изготовления для чугуна.

*** Для чугуна является экономической точностью изготовления.

**** При сверлении без кондуктора.

***** При сверлении по кондуктору.

Приложение 2

Шероховатость и величина дефектного слоя поверхностей,
получаемых различными методами, мкм

Метод обработки	Шероховатость Rz	Дефектный слой h
Литьё в землю при формовке:		
ручной	100...500	200...600
машинной	80...300	150...400
в металлические формы	100...200	100...300
центробежное	40...100	100...200
в оболочковые формы	20...80	150...200
по выплавляемым моделям	10...40	80...100
под давлением	10...40	80...150
Ковка	300...500	400...600
Штамповка:		
обычная	100...250	200...400
повышенной точности	80...200	150...300
Прокат:		
горячекатаный обычный	80...150	100...150
повышенной точности	50...100	80...150
холоднотянутый калибранный	40...80	50...100
Рубка на прессах и ножницах	100...300	100...150
Разрезание пилами на станках	80...160	100...150
Точение:		
черновое	80...150	50...100
получистовое	30...50	40...60
чистовое	15...25	20...30
тонкое	6...10	10...20
Строгание:		
предварительное	80...150	100...150
окончательное	15...25	20...30
Сверление:		
черновое	80...150	50...100
глубокое	15...30	25...50
Зенкерование:		
черновое	30...50	40...50
чистовое	20...30	30...40

Окончание прил. 2

Метод обработки	Шероховатость Rz	Дефектный слой h
Развёртывание:		
предварительное	10...20	15...25
чистовое	6...10	5...10
Растачивание алмазное	3,2...6,3	4...10
Фрезерование:		
обдирочное	80...150	80...100
чистовое	20...50	40...60
тонкое	3,2...6,3	10...30
Протягивание:		
черновое	6...10	10...20
чистовое	3,2...6,3	5...10
Шлифование:		
черновое	20...40	30...50
чистовое	5...10	15...25
тонкое	1,3...3,5	5...10
Хонингование	1...3	3...6
Суперфиниш	0,2...0,8	3...5
Притирка:		
предварительная	0,8...3,2	3...5
окончательная	0,05...0,4	3...5
Полировка	0,05...0,4	2...3

Приложение 3

Значение допусков T (мкм) для размеров до 500 мм

Размеры, мм	Квадитет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	46	75	120	180	300	480	750	1200
» 6 » 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
» 10 » 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
» 18 » 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
» 30 » 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1680	2500
» 50 » 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
» 80 » 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
» 120 » 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4600
» 180 » 230	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
» 230 » 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
» 315 » 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
» 400 » 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Приложение 4

Таблица П4.1

Допуски параллельности, наклона, торцового биения и полного торцового биения

Номинальный размер, мм	Степень точности															
	ММ МКМ															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
До 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
Св. 10 до 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
» 16 » 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
» 25 » 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
» 40 » 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
» 63 » 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
» 100 » 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
» 160 » 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
» 250 » 400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
» 400 » 630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
» 630 » 1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
» 1000 » 1600	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5

Примечания: 1. По данной таблице назначаются также суммарные допуски параллельности и плоскости, перпендикулярности и плоскости, наклона и плоскости.

2. Выбор допуска при данной степени точности производится по длине нормируемой поверхности (если до пуск относится ко всей длине) или длине нормируемого участка. Допуски торцовного или полного торцового биения определяются по наибольшему диаметру торцовой поверхности или диаметру, по которому задается допуск торцового биения.

Таблица П4.2

Назначение допусков параллельности

Способ обработки	Степень точности (см. табл. П4.1)
Доводка, суперфиниширование, алмазная обработка повышенной точности, шабрение повышенной точности	1,2
Доводка, шлифование, шабрение, хонингование	3,4
Шлифование, координатное растачивание, фрезерование повышенной точности	5,6
Фрезерование, строгание, протягивание, шлифование, растачивание	7,8
Фрезерование и растачивание, сверление и развёртывание по кондуктору	9,10
Грубая механическая обработка всех видов	11,12
Все виды	13...16

Таблица П4.3

Назначение допусков перпендикулярности и торцового бienia

Способ обработки	Степень точности (см. табл. П4.1)
Доводка, тонкое шлифование, алмазная обработка повышенной точности	1,2
Доводка, шлифование и шабрение повышенной точности, тонкое точение	3,4
Шлифование, шабрение, хонингование, фрезерование, строгание и растачивание повышенной точности	5,6
Шлифование, фрезерование, строгание, долбление, растачивание	7,8
Обтачивание, грубое фрезерование, строгание и растачивание	9,10
Грубая механическая обработка всех видов	11,12
Все виды	13...16

Таблица П4.4

Допуски соосности, симметричности, пересечения осей и радиального биения

Номинальный диаметр, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Допуск, мкм															
До 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800
Св. 3 до 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
» 10 » 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200
» 18 » 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
» 30 » 50	2	3	5	8	12	20	30	59	80	120	200	300	500	800	1200	2000
» 50 » 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500
» 120 » 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000
» 250 » 400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000
» 400 » 630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000	5000
» 630 » 1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000
» 1000 » 1600	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000	5000	8000

Примечания: 1. Допуски, приведённые в таблице, распространяются также на концентричность, полное радиальное биение и биение в заданном направлении.

2. Допуски соосности, симметричности и пересечения осей приведены в таблице в диаметральном выражении.

Соответствующие им допуски в радиусном выражении могут быть получены делением их значений пополам.

3. Выбор допусков при данной степени точности производится по диаметру нормируемой поверхности или размеру между поверхностями, образующими нормируемый симметричный элемент. Если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером.

Таблица П4.5

Назначение допусков соосности и радиального биения

Способ обработки	Степень точности(см. табл. П4.4)
Доводка, тонкое шлифование, хонингование, алмазная обработка повышенной точности	1,2
Тонкое шлифование и точение, внутреннее шлифование с одной установки, хонингование	3,4
Шлифование, обтачивание повышенной точности, внутреннее шлифование и растачивание с одной установки	5,6
Глубокое шлифование, обтачивание и растачивание нормальной точности, протягивание, развёртывание	7,8
Обтачивание и растачивание, сверление	9,10
Все виды обработки	11...16

Приложение 5

Точность расположения цилиндрических отверстий (Δ_D)

Вид обработки и оборудование	Метод координации инструмента	Расстояние до отверстия, мм				Удельный перекос (увод) в мкм на 1 мм длины отверстия			
		До 50	50..120	120..200	200..500	До 10	10..30	30..50	Св. 50
Литьё: в земляные формы	—	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	—	20..10	15..5	10..3
В кокиль	—	±0,3	±0,5	±0,75	±1,0	—	—	—	—
Точное (под давлением), корковое по выплавляемым моделям	—	±0,15	±0,2	±0,25	±0,35	4..2	3..1,5	2..1	1,5..0,7
Свободная ковка	—	±0,75	±2	±2,5	±3	—	—	—	—
Штамповка: обычная повышенной точности	—	±0,5 ±0,3	±0,7 ±0,5	±1 ±0,75	±1,5 ±1	—	—	—	—
Сверление на сверцильных и радиально-сверцильных станках	по разметке По кондуктору со сменными втулками нормальной точности	±0,5	±0,7	±0,8	±0,8	4..2	3..1,5	2..1	1,5..0,8
		±0,1	±0,15	±0,2	±0,25	2..1,5	1,8..1,6	1,5..0,7	1..0,5

Продолжение прил. 5

Вид обработки и оборудование	Метод координатации инструмента	Расстояние до отверстия, мм				Удельный перекос (увод) в мкм на 1 мм длины отверстия			
		До 50	50...120	120...200	200...500	До 10	10...30	30...50	Св.50
Сверление на сверильных и радиально-сверильных станках	по кондуктору с врапающимися втулками повышенной точности	±0,035	±0,04	±0,05	0,06	1...0,7	0,8...0,5	0,6...0,4	0,5...0,3
	ружейными свёрлами	±0,035	±0,04	±0,05	0,06	0,8...0,5	0,6...0,3	0,4...0,2	0,3...0,4
Растачивание отверстий на станках:	по разметке	±0,4	±0,6	±0,7	±0,8	3...2	2...1	1...0,8	0,5...0,3
горизонтально-расточных	по шкале с нониусом	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	—	—	—	—
	по штирихмасу	±0,05	±0,07	±0,1	±0,12	—	—	—	—
по концевым мерам	±0,03	±0,04	±0,05	±0,06	—	—	—	—	—
алмазно-расточных	—	±0,02	±0,025	±0,03	±0,04	—	—	—	—
координатно-расточных	по шкале с нониусом	±0,02	±0,03	±0,04	±0,05	—	—	—	—
	по оптическим приборам	±0,005	±0,01	±0,015	±0,02	—	—	—	—

Окончание прил. 5

Примечание к прил. 5: Приведённые величины погрешностей расположения отверстий действительны для интервала диаметров отверстий 18...30. При обработке отверстий других размеров табличные величины необходимо умножить на коэффициент К.

Значение коэффициента К

Интервал диаметров	10...18	18...30	30...50	Свыше 50
К	0,8	1,0	1,2	1,6

Приложение 6

Таблица П6.1

Погрешности положения обработанных цилиндрических поверхностей

относительно базовых, мкм

Метод получения базовых поверхностей	Установка в патроне с винтовым зажимом		Установка в пневматическом патроне						
	в радиальном направлении	в осевом направлении	в радиальном направлении		в осевом направлении		в пневматическом патроне		
		интервалы диаметров, мм		интервалы диаметров, мм		интервалы диаметров, мм		интервалы диаметров, мм	
		50...50	120...120	50...50	120...120	50...50	120...120	50...50	120...120
Литьё в формы:									
земляные	300	400	500	600	100	120	150	200	250
металлические	200	300	400	500	80	100	120	150	160
оболочковые	100	150	200	250	50	80	100	120	150
Горячая штамповка на молотах	300	400	500	600	100	120	150	200	250
Штамповка на прессах	200	300	400	500	80	100	120	150	160
Обработка:									
черновая	100	150	200	250	50	90	100	120	160
чистовая	50	80	100	120	30	50	80	100	140

Окончание табл. П6.1

Метод полу- чения базовых поверхностей	Установка в центре по упорам					
	в радиальном направлении			в осевом направлении		
	интервалы диаметров, мм					
	10...18	18...30	30...50	50...80	10...18	18...30
Холодно-тянутая калиброванная	50	60	70	80	50	60
Предварительно обработанная	50	60	70	80	50	60
Чисто обработан- ная	25	30	35	40	25	30
					35	40

Таблица П6.2

Диаметр, мм	Нормальная точность установки Н	Погрешность положения (несоосности) обработанной поверхности относительно центровых фасок при установке в центрах, мм						Высокая точность установки В													
		Повышенная точность установки II			Интервалы длины, мм			Повышенная точность установки II			Интервалы длины, мм										
		Ло 120	Ло 260	Ло 500	Ло 1250	Ло 120	Ло 260	Ло 500	Ло 1250	Ло 120	Ло 260	Ло 500	Ло 1250	Ло 120	Ло 260	Ло 500	Ло 1250	Ло 120	Ло 260	Ло 500	Ло 1250
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—
До 18	0,03	0,35	—	—	0,01	0,01	—	—	0,005	0,006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 18 до 50	0,045	0,05	0,06	0,08	0,012	0,015	0,02	0,025	0,007	0,008	0,01	0,012	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016	0,019
Св. 50 до 80	0,06	0,065	0,08	0,11	0,02	0,020	0,025	0,035	0,009	0,01	0,011	0,012	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016	0,021
Св. 80 до 120	0,07	0,075	0,09	0,13	0,02	0,025	0,03	0,04	0,011	0,012	0,013	0,014	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016	0,021
Св. 120 до 180	0,085	0,09	0,105	0,145	0,025	0,03	0,04	0,05	0,013	0,014	0,015	0,016	0,021	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016	0,021

Окончание табл. П6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Св. 180 до 260	0,1	0,11	0,12	0,16	0,03	0,035	0,035	0,05	0,015	0,016	0,018	0,023

Примечания к табл. П6.2: 1. Нормальную точность установки используют при обдирке и черновой обработке, повышенную – при чистовой обработке, высокую – при шлифовании и тонком точении.

2. При определении радиального бieniaния табличные значения нужно удвоить.

Таблица П6.3

Погрешность зацентровки (несоосность центровых фасок и поверхности заготовки, используемых при зацентровке в качестве установочной базы), мм

Диаметр, мм	Вид заготовки и точность установочной базы			Диаметр, мм	Вид заготовки и точность установочной базы		
	штам-повка	прокат чёрный	14-й кв-т (после обдирки)		штам-повка	прокат чёрный	14-й кв-т (после обдирки)
До 30	–	0,26	0,17	0,15	Св. 80 до 120	0,62	0,56
Св. 30 до 50	0,42	0,31	0,19	0,16	Св. 120 до 180	0,73	0,69
Св. 50 до 80	0,52	0,38	0,21	0,16	Св. 180 до 260	0,87	0,85

Приложение 7

Таблица П7.1

Кривизна поверхности Δk (мкм на 1 мм) для поковок

Вид обработки	Диаметр или размер сечения, мм				
	До 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 500
Ковка	3	2	1	0,8	0,6
Механическая обработка:					
обдирочная	1,5	1	0,5	0,4	0,3
черновая	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
получистовая	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
После термической обработки (закалка) и правки	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02

Таблица П7.2

Кривизна оси Δk (мкм на 1 мм) поковок типа валов

Диаметр поковки D, мм	После штамповки	После правки на пресс-сах	После термической обработки	
			в печах	ТВЧ
До 25	4	0,2	2,5	1,25
Св. 25 до 50	3	0,15	1,5	0,75
» 50 » 80	2	0,12	1,5	0,75
» 80 » 120	1,8	0,1	1,0	0,5
» 120 » 180	1,6	0,08	1,0	0,5
» 180 » 260	1,4	0,06	—	—
» 260 » 360	1,2	—	—	—
» 360 » 500	1,0	—	—	—

Рекомендуемые значения глубины слоёв насыщения
и покрытий стальных поверхностей и их колебания, мм

Вид обработки	Рекомендуемая глубина слоя		Колебание глубины слоя
	min	max	
Цементация карбюризатором:			
твёрдым	0,2	2,5	0,4
жидким	0,1	0,5	0,1
газообразным	0,2	2,0	0,15
Цианирование	0,2	1,5	0,1
Азотирование	0,1	0,5	0,05
Хромирование:			
молочное	0,01	0,07	0,02
пористое	0,04	0,2	0,05
Никелирование	0,03	0,15	0,02
Алитирование	0,1	0,6	0,03
Цинкование	0,02	0,07	0,05
Кадмирование	0,02	0,05	0,005
Меднение	0,03	0,06	0,01
Лужение	0,02	0,06	0,015

Чертежи деталей для самостоятельной работы

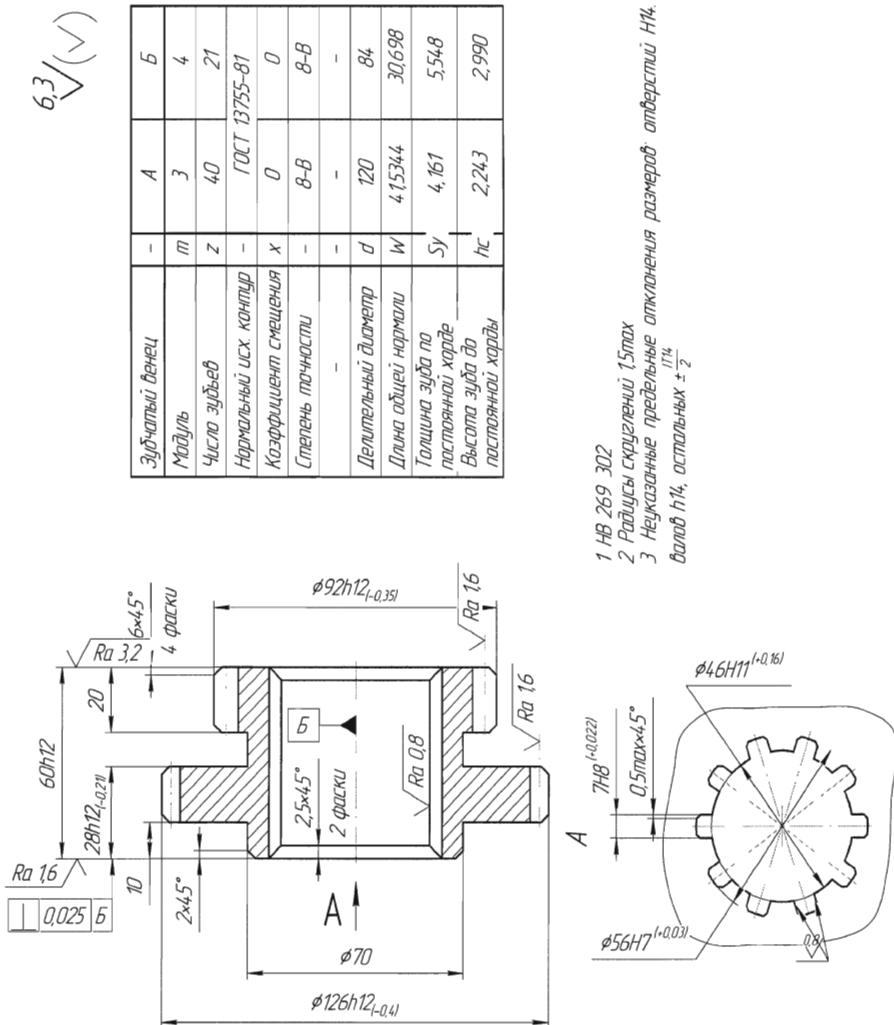


Рис. П9.1. Блок зубчатый

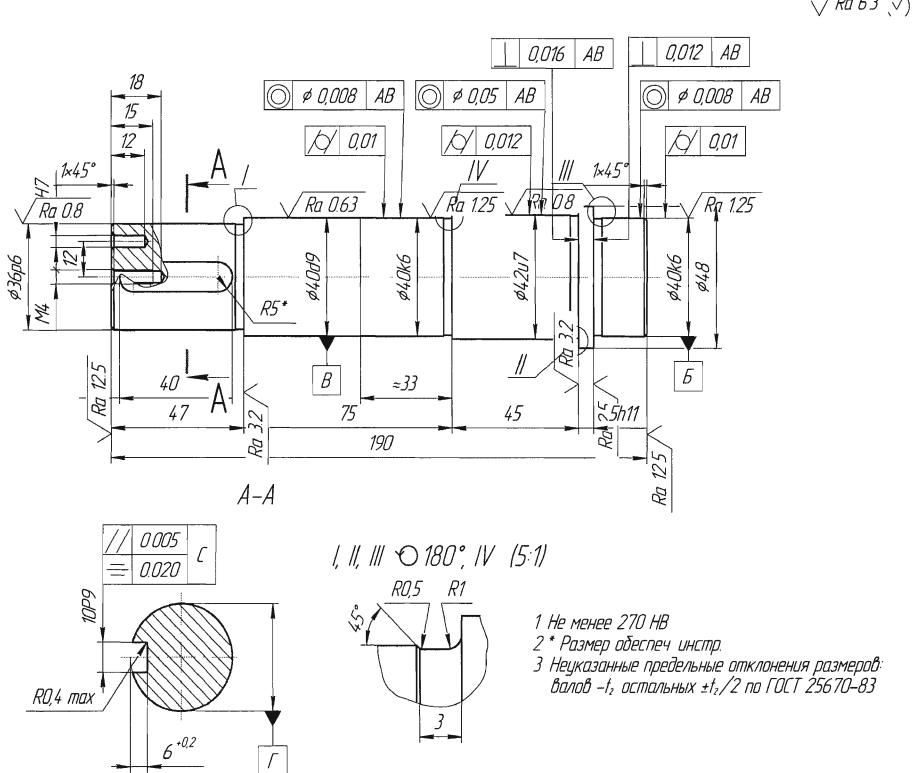


Рис. П9.2. Вал тихоходный

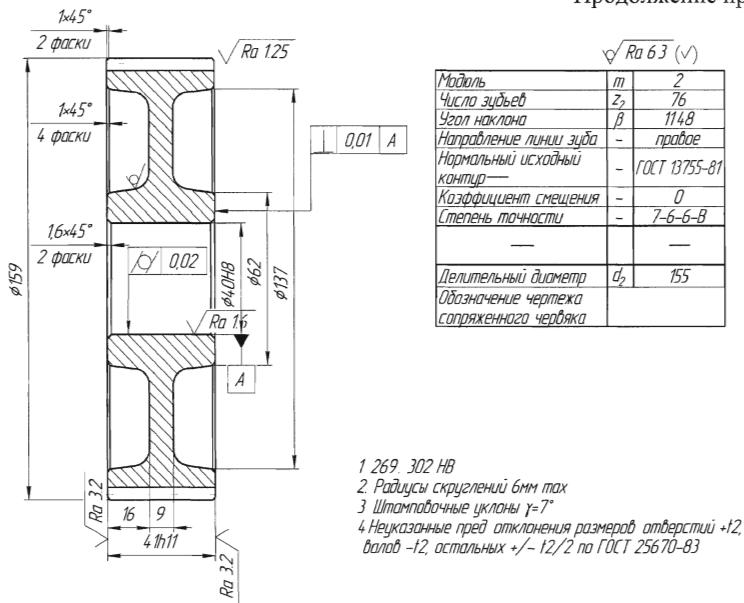


Рис. П9.3. Колесо зубчатое

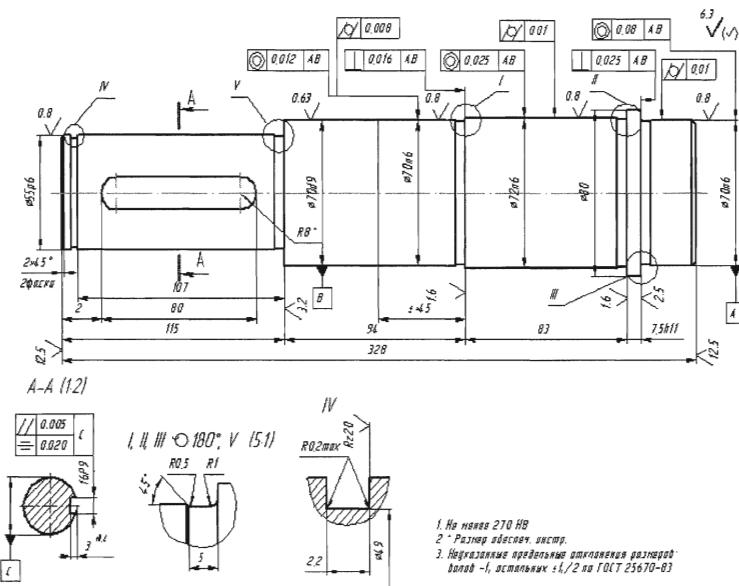
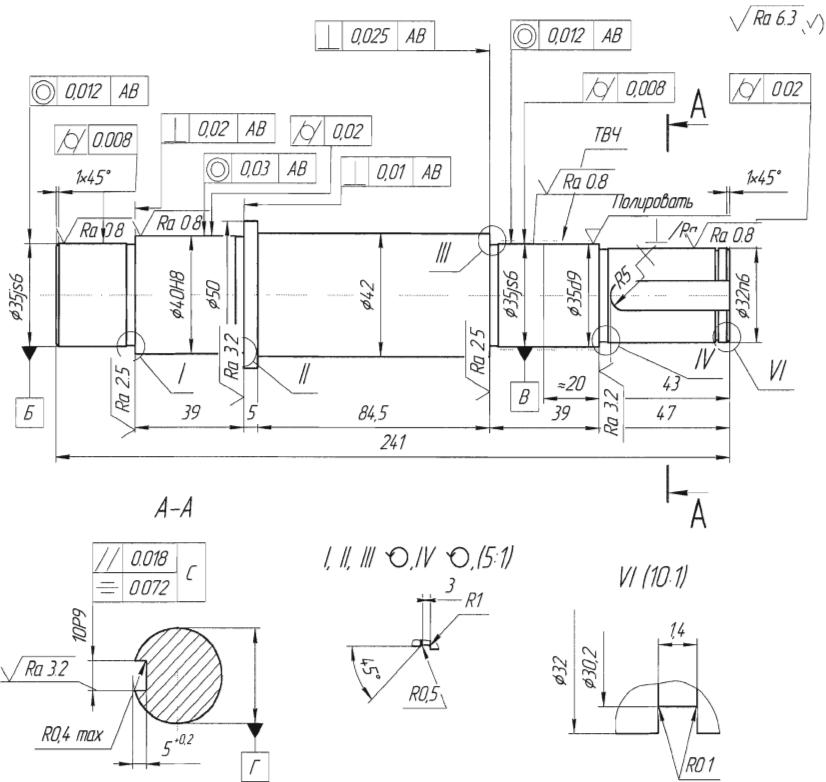


Рис. П9.3. Вал



- 1 Не менее 240 НВ кроме указанных мест
- 2 Участок закалки ТВ4 продолжить до конца ступени 45...50НРС, h 15...2мм
- 3 * Размер обеспеч. инстр
- 4 Неуказанные предельные отклонения размеров балоб - t_1 , остальных $\pm t_2/2$ по ГОСТ 25670-83

Рис. П9.4. Вал

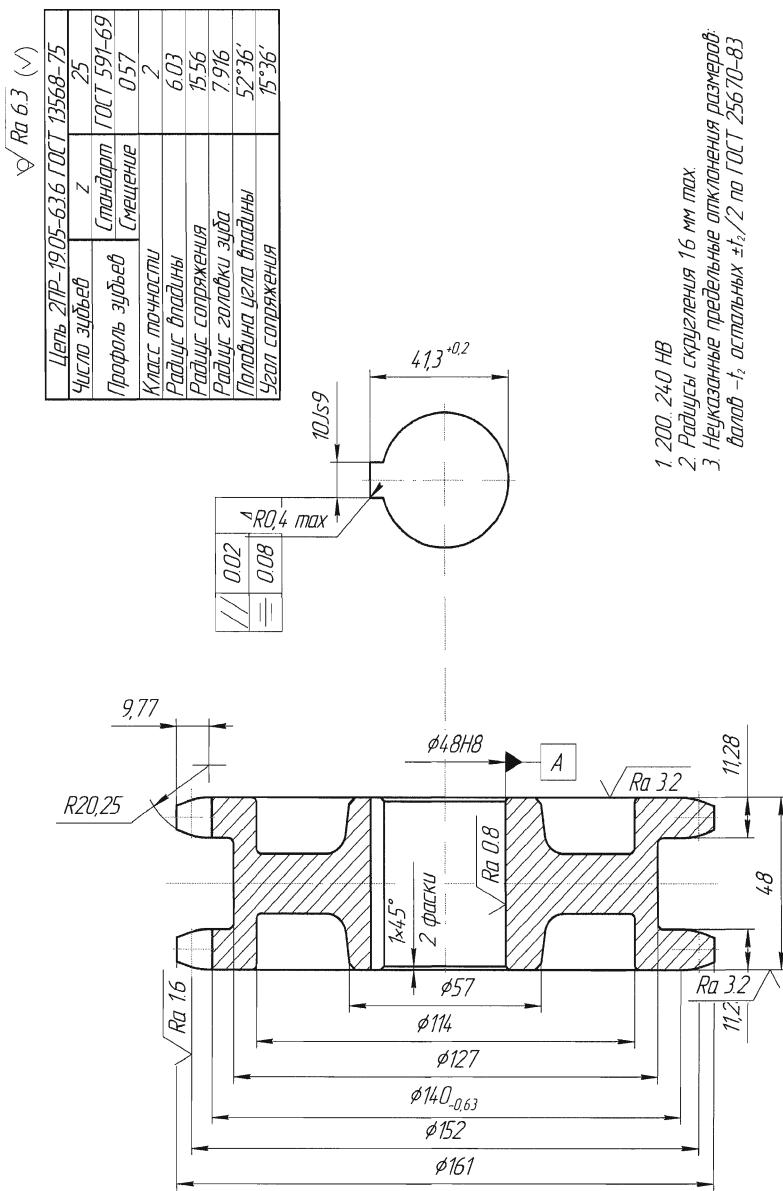


Рис. П9.5. Звездочка двухрядная

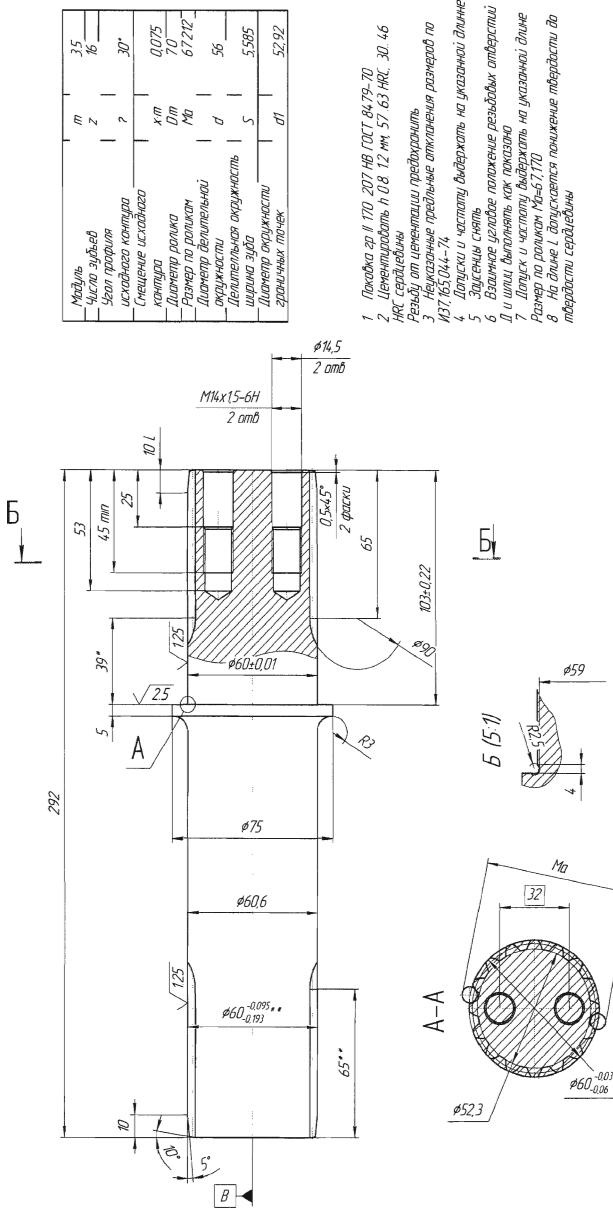


Рис. П9.6. Вал

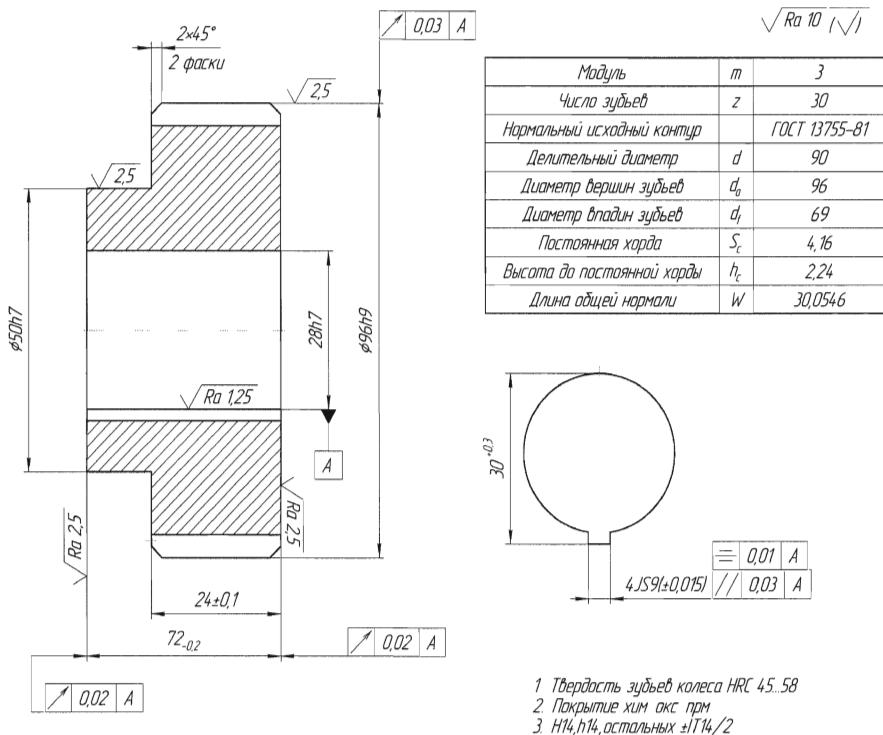


Рис. П9.7. Зубчатое колесо

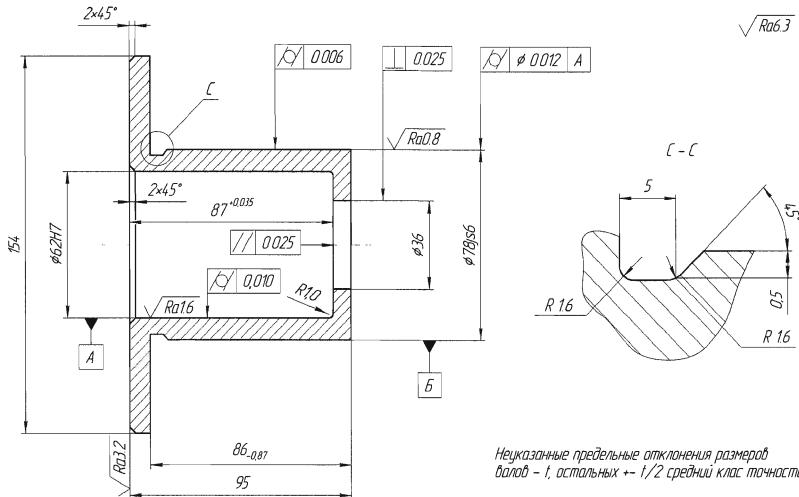


Рис. П9.8. Стакан

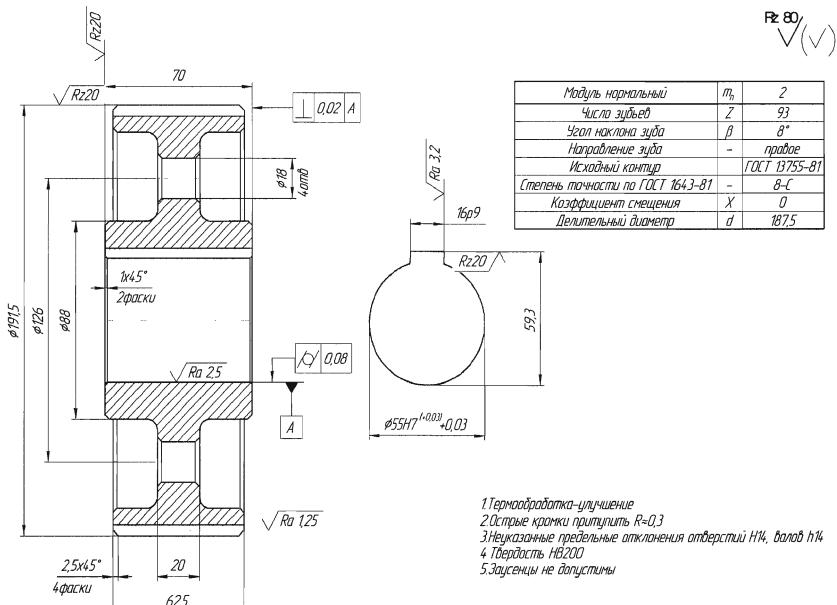


Рис. П9.9. Зубчатое колесо

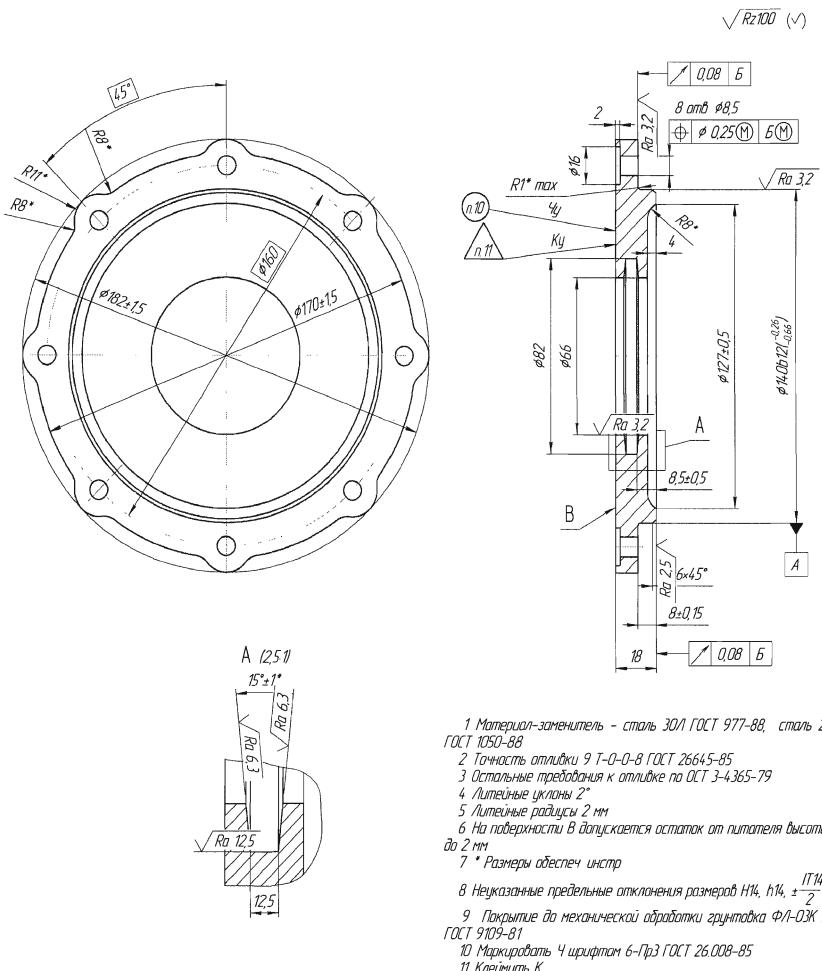


Рис. П9.10. Крышка

$\sqrt{Ra \leq 6.3}$

Маркировка		m	δ
Число звезд		Z	5
Несколько контур		-	ГОСТ 1755-87
Контуральное сечение		x	0.267
Справочная поверхность по ГОСТ 2543-87		-	9.8
Планка винтов крепления		W	3105/2423
Планка винтов крепления		F_{**}	0
Лицевая и коротковато щерпательного редуктора	За обработку отверстия	f_1	0.012
Лицевая и коротковато щерпательного редуктора	На винты, заклепки	f_1	0.045
Лицевая и коротковато щерпательного редуктора	Лицевое и коротковато щерпательного редуктора	f_1	0.08
Лицевое и коротковато щерпательного редуктора	Лицевое и коротковато щерпательного редуктора	f_{μ}	-
Лицевое и коротковато щерпательного редуктора	Лицевое и коротковато щерпательного редуктора	d	60
Размеры, радиусы и допуски	Размеры, радиусы и допуски	R_s	2028
Размеры, радиусы и допуски	Размеры, радиусы и допуски	R	2.146

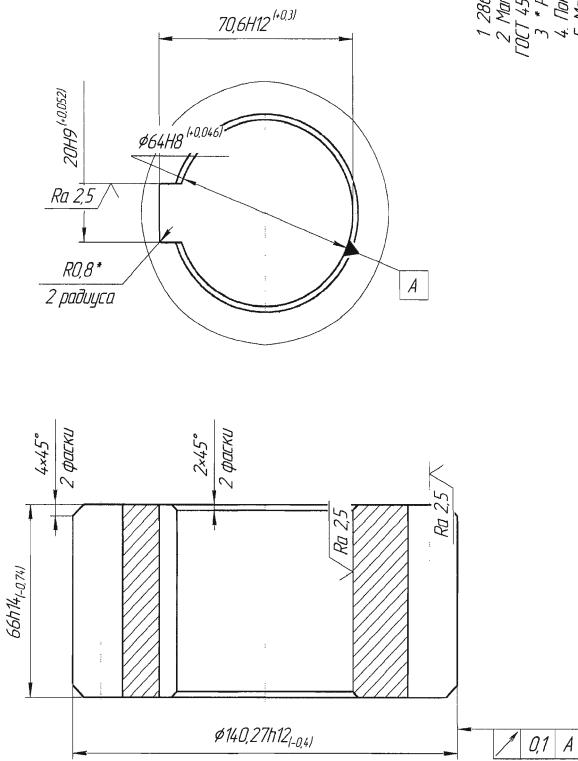


Рис. П9.11. Шестерня

1 286 341НВ
2 Материал-закаленное – сталь 40ХС ГОСТ 1045-87, сталь 45Х

ГОСТ 4543-71

3 * Радиус обдирочн. шлифр

4 Покрытие Хром ФОС пром

5 Маркировать Ч и кратчайш. Н. К на борту

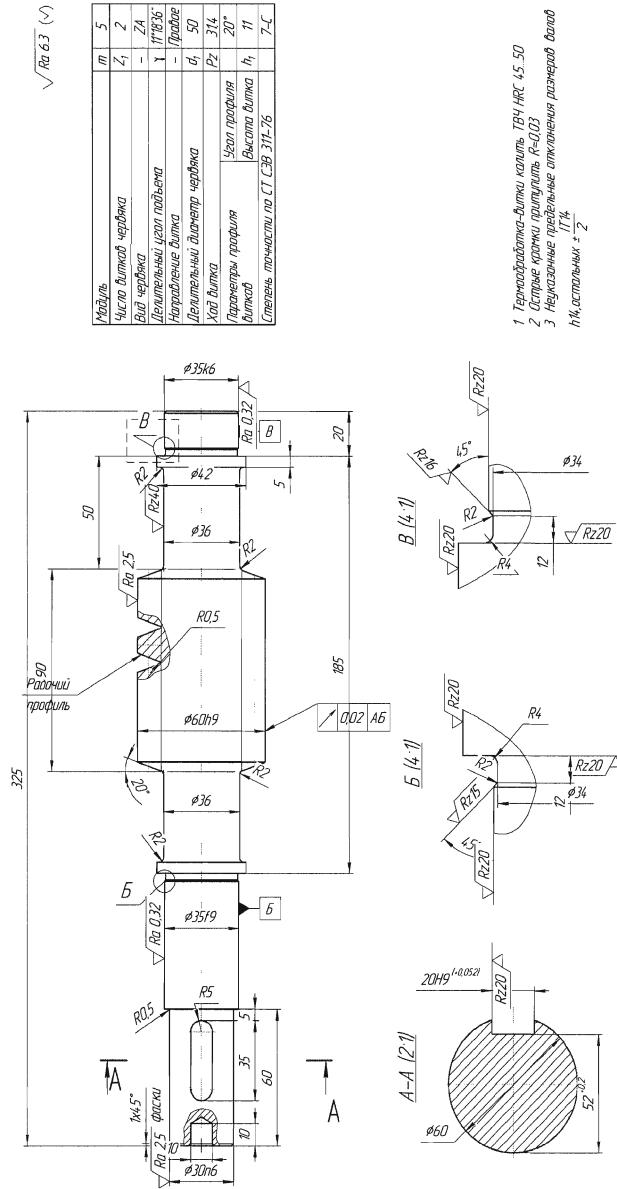


Рис. П9.12. Вал червячный

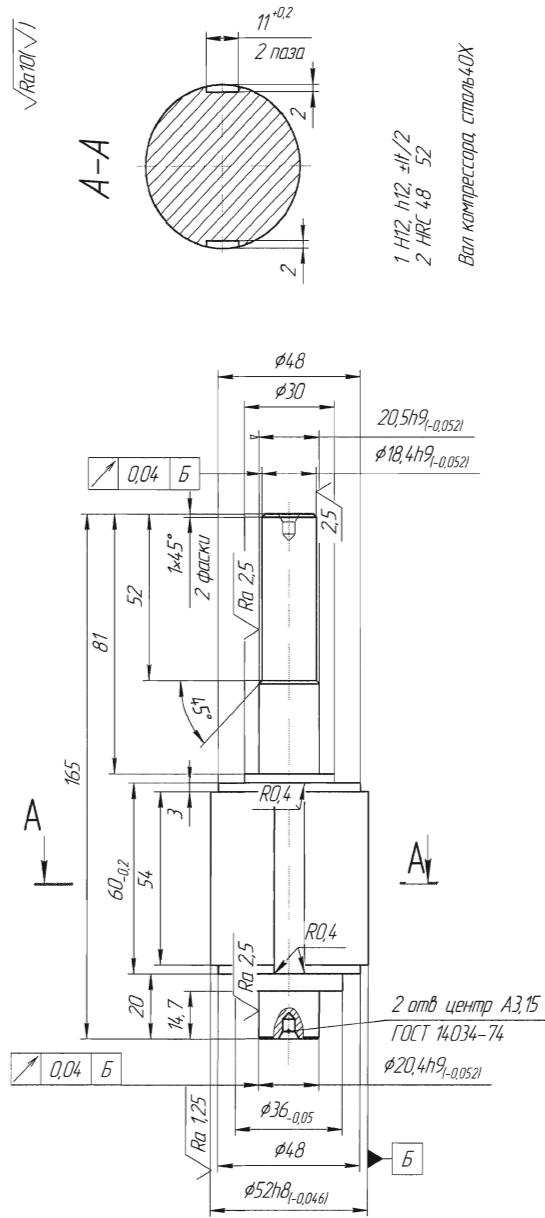


Рис. П9.13. Вал компрессора

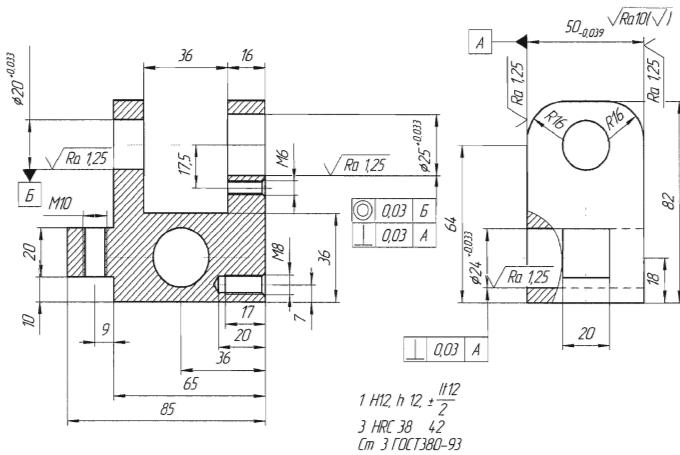


Рис. П9.14. Державка

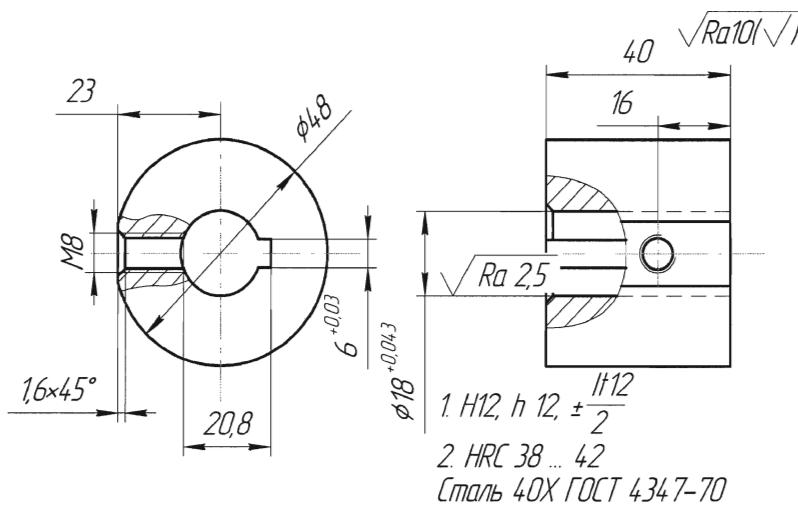
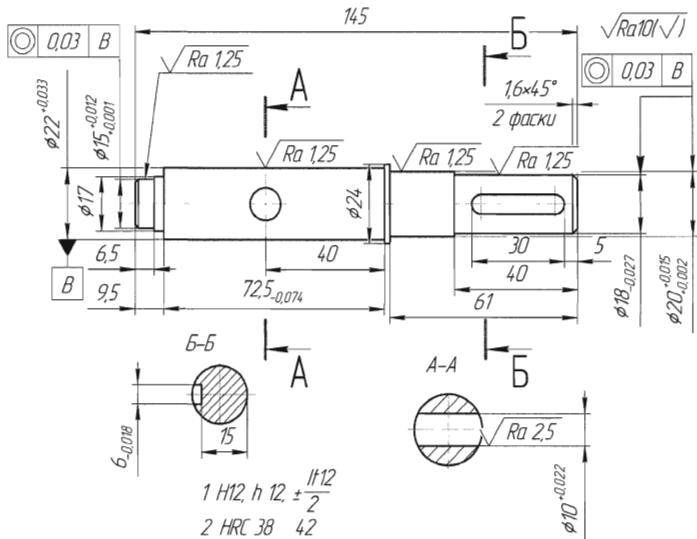
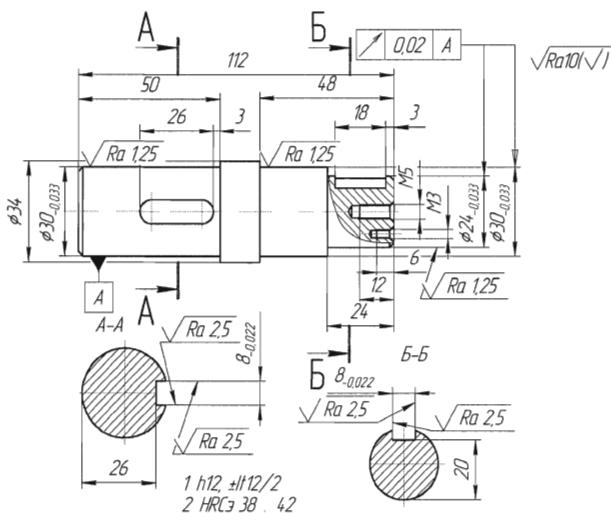


Рис. П9.15. Втулка



Вал центральный Сталь 40Х ГОСТ 4347-71

Рис. П9.16. Вал центральный



Вал ударника Сталь 40 ГОСТ 1050-83

Рис. П9.17. Вал ударника

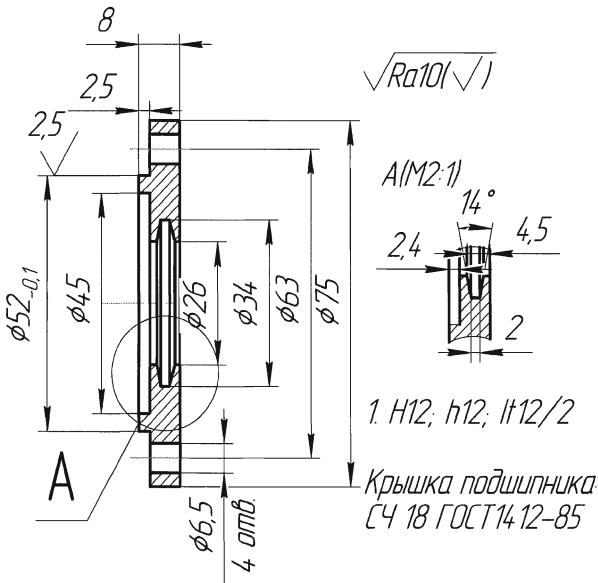


Рис. П9.18. Крышка подшипника

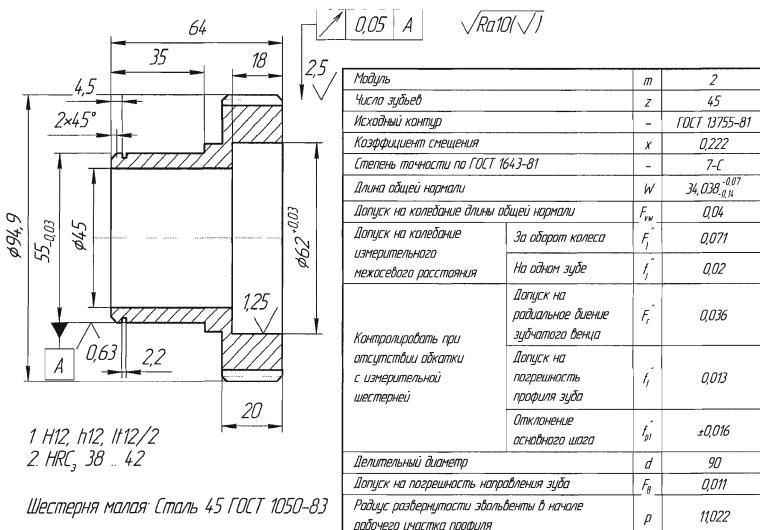
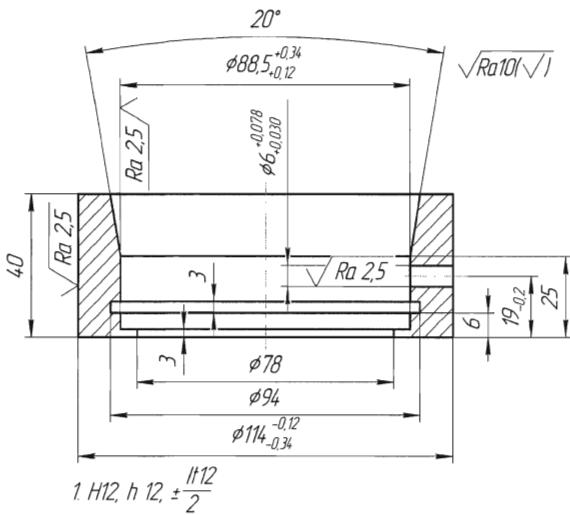


Рис. П9.19. Шестерня

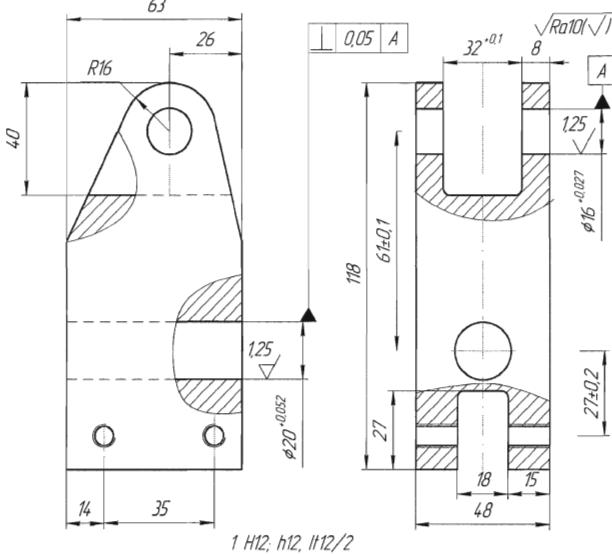


2. Острые кромки притупить

3. HRC 38 ... 42

Сталь 25ХГМ ГОСТ 4543-71

Рис. П9.20. Втулка сменная



Кронштейн. Сталь 20 ГОСТ 1050-83

Рис. П9.21. Кронштейн

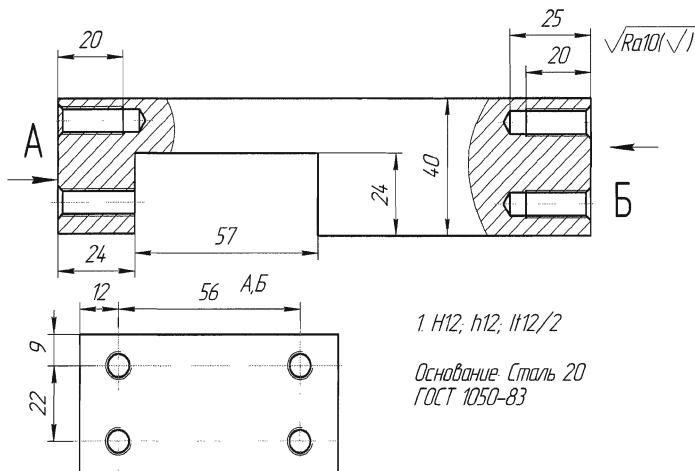


Рис. П9.22. Основание

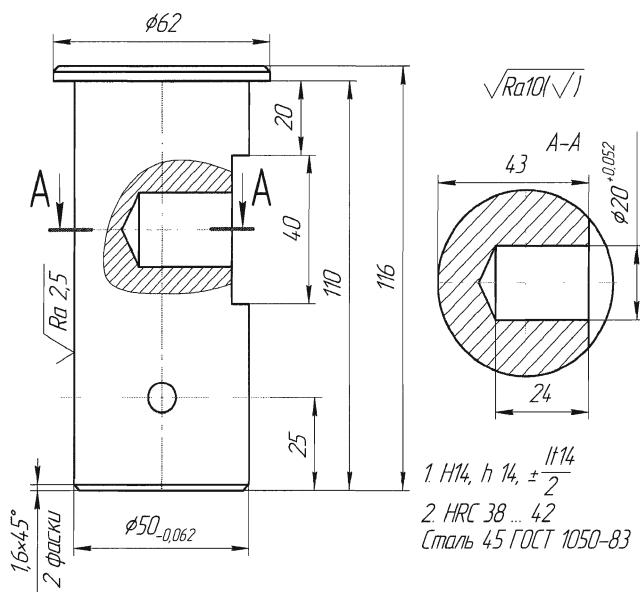


Рис. П9.23. Ось фиксатора

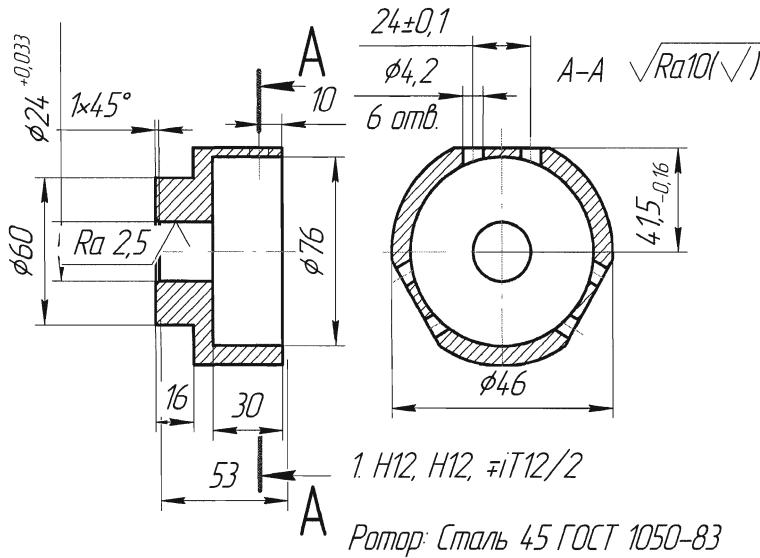


Рис. П9.24. Ротор

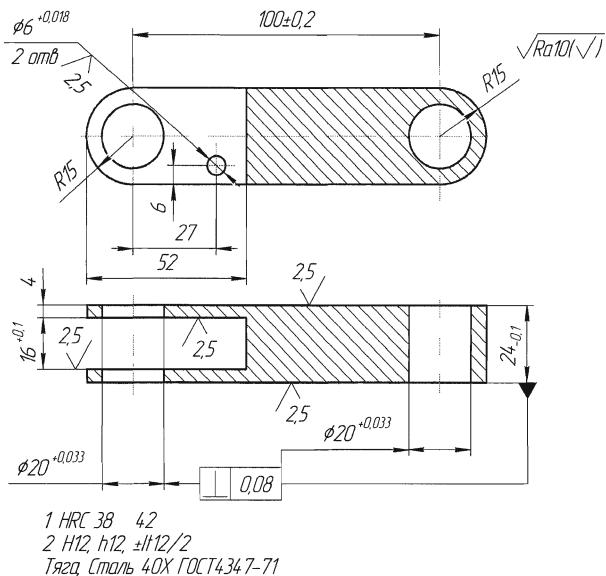


Рис. П9.25. Тяга

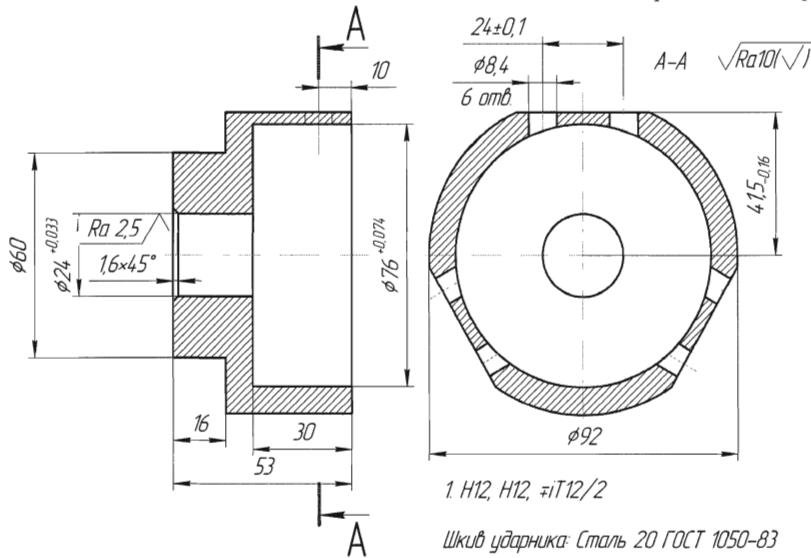


Рис. П9.26. Шкив ударника

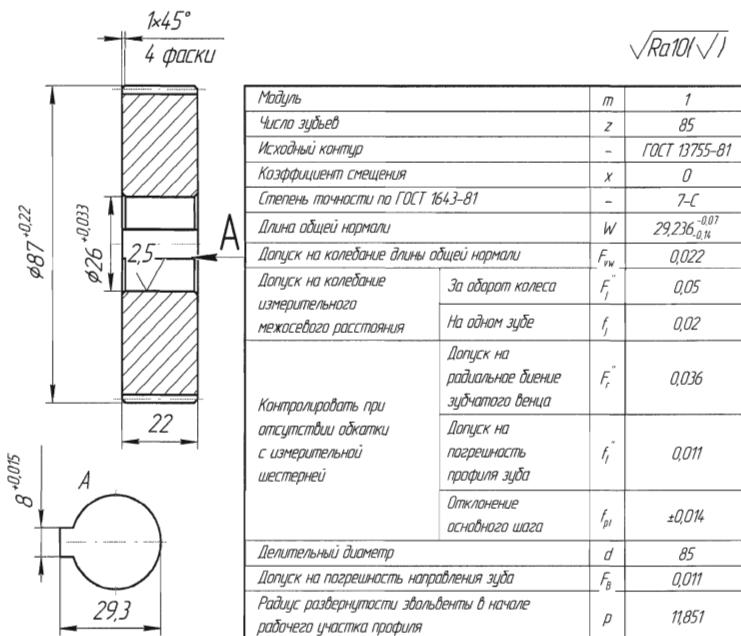


Рис. П9.27. Шестерня

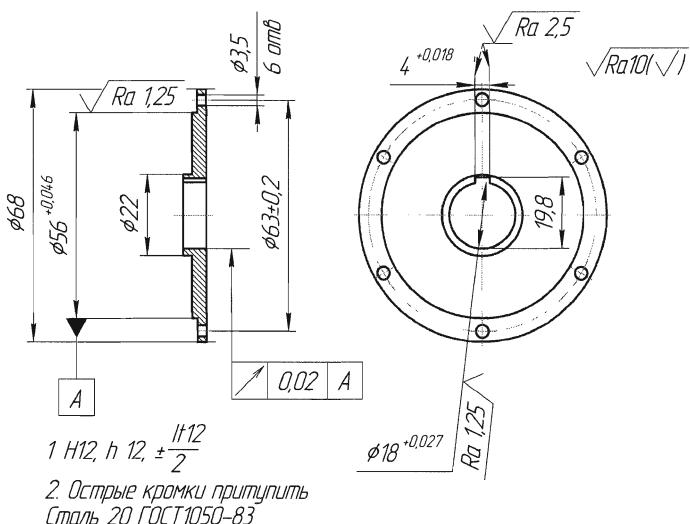


Рис. П9.28. Крышка

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, И.Ф. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1979. – 111 с.
2. Иващенко, И.А. Технологические размерные расчёты и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 221 с.
3. Допуски и посадки: справочник: в 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Пилей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч. 1. – 543 с.
4. Справочник технолога- машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
5. Миков, Ю.Г. Заготовки в машиностроении: учебное пособие / Ю.Г. Миков, С.В. Балинский. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 37 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Общие вопросы размерного анализа.....	3
2. Точность технологических операций и припуски на обработку.....	6
3. Размерные схемы технологических процессов.....	9
4. Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей машин	23
5. Размерный анализ технологических процессов с использованием ЭВМ.....	48
Приложения.....	55
Библиографический список.....	95

Техн. редактор А.В. Миних

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 02.06.2010. Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 5,58. Тираж 100 экз. Заказ 239/194. Цена С.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.