

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

М.В. Налимова

## **ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск  
2014

УДК 621(075.8)

Рецензенты:

Заведующий кафедрой ОТД ФГБОУ ВПО «Магнитогорский  
государственный университет»  
профессор, доктор технических наук  
***В.С. Славин***

Кандидат технических наук, доцент кафедры МиТОД  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»  
***А.В. Беляев***

**Налимова, М.В.**

**Припуски на механическую обработку:** учеб. пособие /  
Налимова М.В. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та  
им. Г.И. Носова, 2014. 82 с.

Изложены основные методы расчета припусков и структура общего  
припуска. Приведена методика расчета припусков.

Предназначено для студентов специальностей 1501001,  
150201,150202 и направления 151900, изучающих дисциплину «Основы  
технологии машиностроения».

УДК 621(075.8)

© Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И. Носова, 2014  
© Налимова М.В., 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Общие сведения о припуске на механическую обработку .....	4
2. Расчетно-аналитический метод определения припусков.....	10
2.1. Высота неровностей профиля .....	11
2.2. Глубина дефектного поверхностного слоя .....	12
2.3. Отклонения расположения поверхностей.....	13
2.4. Погрешность установки заготовки .....	17
2.5. Упрощенные формулы для расчета минимальных припусков.....	20
3. Определение допуска припуска и расчет номинального и максимального припусков на обработку .....	22
3.1. Допуск припуска .....	22
3.2. Номинальный (расчетный) припуск.....	24
3.3. Максимальный (гарантированный) припуск .....	24
4. Определение промежуточных и предельных размеров .....	25
5. Пример расчета припуска на наружную цилиндрическую поверхность вала расчетно-аналитическим методом.....	34
6. Опытно-статистический метод определения припусков .....	39
7. Примеры расчета припусков опытнo-статистическим методом .....	48
7.1. Пример расчета припусков на обработку наружной цилиндрической поверхности .....	48
7.2. Пример расчета припусков на обработку отверстия.....	52
Список литературы .....	55
Приложение А .....	56

## **ВВЕДЕНИЕ**

Повышение эффективности производства предусматривает экономию металла, сокращение затрат труда на всех этапах производства, достижение оптимальных технико-экономических показателей при обеспечении наивысшего уровня качества и надежности деталей машин.

Значительное сокращение расхода конструкционных материалов может быть достигнуто путем уменьшения припусков на механическую обработку, что в свою очередь связано с повышением точности заготовок, уменьшением толщины дефектного поверхностного слоя и применением принципиально новых технологических процессов изготовления заготовок, размеры которых максимально приближены к размерам готовых деталей. Правильно выбранные припуски обеспечивают стабильность качества выпускаемой продукции при наименьшей себестоимости.

### **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИПУСКЕ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ**

Для обеспечения требуемых точностных и качественных характеристик деталей широко применяется механическая обработка, в процессе которой с заготовки снимается слой металла.

Припуском называется слой металла, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали. Припуск измеряют по нормали к обрабатываемой поверхности; для цилиндрических и близких к ним по форме поверхностей деталей с одинаковым припуском на цилиндрическую сторону припуск считают на диаметр или толщину. Припуск на сторону должен оговариваться (рис.1,а).

Напуском принято называть тот объем металла, который подлежит удалению с исходной заготовки при образовании отверстий, пазов и углублений в сплошном металле (рис.1,б). Исходной называется заготовка перед первой технологической операцией.

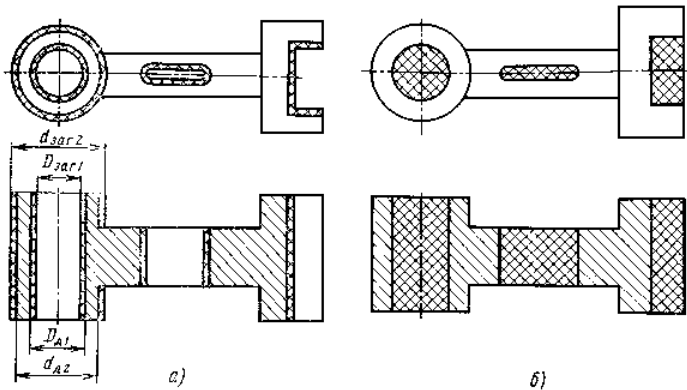


Рис. 1. Общий припуск и напуск заготовок

Поверхности деталей, не подвергаемые обработке, припусков не имеют. Припуск зависит от объема выпуска продукции, вида заготовок, материала и размера заготовок, конструктивной формы заготовок, особенностей технологического процесса обработки заготовок, наличия термической обработки в процессе изготовления деталей, способа установки заготовок на станке, упругих деформаций от их закрепления в приспособлениях, сил резания, состояния оборудования и заданных точности и шероховатости поверхности детали. Поэтому выбор оптимального припуска является сложной технологической задачей.

Оптимальным следует считать припуск, который обеспечивает получение высококачественной продукции при наименьшей себестоимости.

При механической обработке заготовок заданные чертёжом формы, размеры и качество поверхностного слоя детали могут достигаться последовательно за несколько операций или переходов.

Операционным припуском называется слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции, а промежуточным припуском называется слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одного технологического перехода.

Операционный припуск будет равняться сумме припусков на отдельные переходы, входящие в данную операцию. При этом на каждом переходе с обрабатываемой поверхности снимается слой металла, в результате чего изменяются размеры,

форма и качество поверхностного слоя заготовки. При полной обработке снимается общий припуск. Общим припуском  $z_0$  следует считать весь слой материала, удаляемый с поверхности исходной заготовки в процессе механической обработки с целью получения заданных свойств обрабатываемой поверхности готовой детали.

Общий припуск равен сумме промежуточных припусков:

$$z_0 = \sum_{i=1}^n z_i$$

где  $Z_i$  — промежуточный припуск;  $n$  — число технологических переходов.

Общий припуск между предварительной и чистовой обработкой распределяется приблизительно следующим образом: 60% общего припуска приходится на предварительную обработку и 40% — на чистовую или 45% — на предварительную, 30% — на получистовую, 25% — на чистовую обработку.

На первой операции необходимо обеспечить сохранение плотного однородного слоя на поверхности детали, подвергающегося наибольшему износу. При распределении припуска на обработку между несколькими параллельными поверхностями необходимо наибольшую часть его снимать с менее ответственных поверхностей, имеющих меньшие габаритные размеры, например, со станины станка (рис.2,а).

Неравномерный припуск обрабатываемых поверхностей вызывает появление переменных сил резания, вибрации и упругих деформаций технологической системы, что в свою очередь снижает качество, точность и производительность обработки.

Различают односторонние и двусторонние припуски.

Односторонним припуском называется слой материала, удаляемый с какой-либо стороны заготовки, а противоположная ей поверхность не подвергается одновременной обработке (2,а, б).

Двусторонним припуском называется слой материала, удаляемый одновременно с двух сторон заготовки. Двусторонний припуск может быть симметричным и асимметричным.

При симметричном припуске толщина удаляемого слоя одинакова с каждой стороны. Симметричный припуск снимается при обработке наружных (рис.3,а) и внутренних (рис.3,б) поверхностей тел вращения и при параллельной обработке противоположных плоских поверхностей (3,в).

При асимметричном припуске толщина удаляемого слоя не одинакова с каждой стороны (рис.4,а) либо припуск снимается только с одной стороны заготовки или детали (рис.4,б).

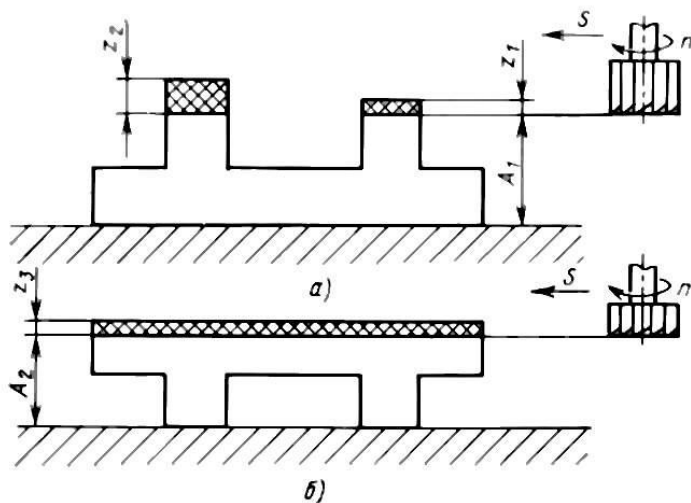


Рис. 2. Схемы последовательности обработки заготовок станины станка

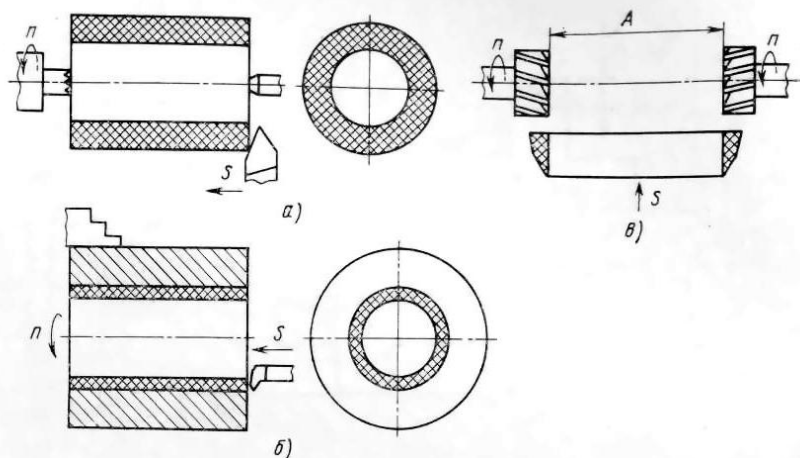


Рис. 3. Схемы расположения симметричного припуска на обработку

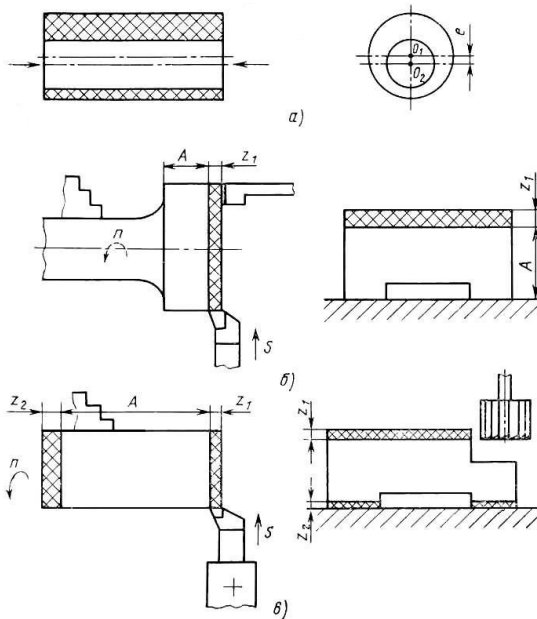


Рис. 4. Схемы расположения асимметричного припуска на обработку

Следовательно, частным случаем двустороннего асимметричного припуска может быть односторонний припуск.

Асимметричный припуск удаляется с противоположных поверхностей независимо друг от друга (рис.4,в).

Симметричный припуск определяется на диаметр, асимметричный припуск определяется на сторону.

Припуски должны быть достаточными для получения заданных размеров, микрогеометрии и формы детали и в то же время минимальными для уменьшения расхода металла и снижения затрат на обработку.

Завышенные припуски на обработку обуславливают:

- неоправданный перерасход металла;
- увеличенные массу и стоимость заготовок, трудоемкость обработки, станочный парк и производственные площади, расход инструмента, затраты на ремонт и обслуживание станков, расход электроэнергии, затраты на транспортирование стружки;
- необходимость введения дополнительных технологических переходов;



- удаление (в некоторых случаях) наиболее износостойких поверхностных слоев;
- затруднения обработки на настроенных станках;
- снижение точности обработки в связи с упругими деформациями технологической системы.

Заниженный припуск на обработку может вызвать:

- неприемлемые технологические условия для работы режущего инструмента в зоне твердой литевой корки или окалины;
- предпосылки к некачественному изготовлению деталей — дефектам и браку;
- повышенные требования к заготовкам, что вызовет их удорожание;
- неудаленный дефектный слой, образовавшийся при изготовлении заготовок;
- увеличение стоимости обработки;
- усложнение выверки детали;
- завышенные требования к квалификации рабочих;
- усложнение достижения требуемых точности и качества поверхности.

Установление оптимальных припусков на обработку по всем переходам является одной из основных задач, правильное решение которой имеет большое технико-экономическое значение.

Рассмотрим опытно-статистический и расчетно-аналитический методы определения припуска.

Опытно-статистический метод основан на статистике и опыте большого числа предприятий. Основными преимуществами этого метода можно считать экономию времени на определение припуска.

Опытно-статистический метод позволяет определить размеры заготовок до разработки технологического процесса.

Недостатки этого метода заключаются в том, что припуски назначают без учета конкретных условий построения технологических процессов, например, общие припуски назначают без учета схемы установки заготовки и погрешностей предшествующей обработки.

Так как опытно-статистический метод определения припуска не учитывает особенностей технологического процесса на данном предприятии, рекомендуемые припуски завышают. Завышенный припуск ориентирован на условия обработки, при которых припуск должен обеспечить работу без брака. Нормативные таблицы для выбора припусков можно использовать в условиях единичного и мелкосерийного производства при изготовлении небольших, не-

дорогих деталей и когда технологические процессы разрабатываются укрупнено. Во всех остальных случаях следует определять припуск расчетно-аналитическим методом.

## 2. РАСЧЕТНО - АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ

Расчетно-аналитический метод основан на учете конкретных условий выполнения технологического процесса обработки и позволяет определить припуск с составляющими его элементами.

Этот метод применим при обработке резанием методом автоматического получения размеров на налаженных станках и обработке резанием методом индивидуального получения размеров, особенно при обработке крупных деталей, например, в тяжелом машиностроении. Расчетно-аналитический метод определения припусков позволяет выявить возможности экономии металла и снизить трудоемкость обработки деталей.

Согласно методу расчета припусков, разработанному профессором В. М. Кованом и основанному на учете факторов, действующих в процессе обработки, промежуточный припуск на каждой выполняемой операции (переходе) должен быть таким, чтобы при его снятии были ликвидированы погрешности предшествующей операции (перехода) или заготовки, а также погрешности установки обработанной заготовки на выполняемой операции (переходе).

Глубина резания, при которой удаляются указанные погрешности, обеспечивает более устойчивый процесс резания и высокое качество обрабатываемой поверхности.

На основе изучения причин, вызывающих появление погрешностей обработки резанием, устанавливаются законы их суммирования.

На величину минимального промежуточного припуска влияют величины  $R_{z_{i-1}}$ ,  $h_{i-1}$ ,  $\Delta \sum_{i-1+\varepsilon_i}$ .

Формула для расчета минимального припуска при методе автоматического получения размеров имеет вид:

$$z_{i_{\min}} = (R + h)_{i-1} + \Delta \sum_{i-1} + \varepsilon_i,$$

где  $R_{z_{i-1}}$  - высота неровностей профиля по десяти точкам, полученная на предшествующем переходе;  $h_{i-1}$  — глубина дефектного поверхностного слоя, полученного на предшествующем переходе

(обезуглероженный или отбеленный слой);  $\Delta \Sigma_{i-1}$  — суммарные отклонения формы и расположения поверхностей, полученные на предшествующем переходе;  $\varepsilon_i$  — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе ( $i$  относится к выполняемой операции или переходу;  $i-1$  относится к элементу, полученному на предшествующей операции или переходе).

## 2.1. ВЫСОТА НЕРОВНОСТЕЙ ПРОФИЛЯ

На первой операции (переходе), когда необходимо удалить неровности, имеющиеся на поверхности заготовки, высоту неровностей учитывают по исходной заготовке. При выполнении второй операции (перехода) необходимо учесть неровности на поверхности детали, полученные на первой операции (переходе) и т. д. Заданные чертежом параметры шероховатости поверхности в значительной мере зависят от точности обрабатываемых поверхностей деталей: чем выше точность обработки, тем меньше должны быть параметры шероховатости поверхности.

Неровности поверхностного слоя в результате предшествующей технологической операции (перехода) подлежат удалению на выполняемой операции (переходе). Однозначно оценить целесообразность выбора критерия шероховатости поверхности (по критерию  $R_z$  или  $R_{\max}$ ) сложно (рис. 5).

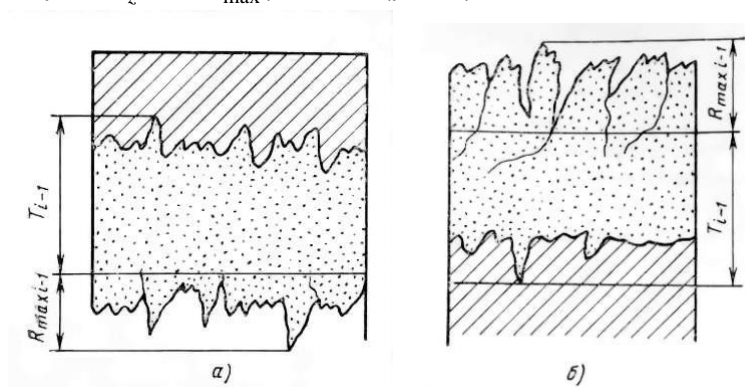


Рис. 5. Поверхностный слой заготовки: а – при обработке внутренней поверхности; б – при обработке наружной поверхности

При расчете припуска для оценки шероховатости поверхности деталей получил распространение параметр  $R_z$  (высота неровностей профиля по десяти точкам). Значения параметра шероховатости  $R_z$  систематизированы и приведены в справочной литературе [1] в табличной форме, удобной для автоматизированного способа расчета.

Аналогично систематизированы и приведены к табличной форме и другие составляющие минимального припуска.

## 2.2. ГЛУБИНА ДЕФЕКТНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Дефектным поверхностным слоем называется слой, отличающийся от основного металла механическими свойствами, наличием остаточных напряжений или структурой. Не всякий поверхностный слой, отличающийся от основного металла, снижает эксплуатационные свойства деталей. Поэтому дефектный поверхностный слой может подлежать полному или частичному удалению, а в некоторых случаях совсем не учитывается при расчете припуска на обработку. Дефектный поверхностный слой зависит от материала и размеров заготовки, способа ее получения и обработки и включает в себя выпуклости, вмятины, раковины и трещины (см. рис. 5).

У заготовок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, наружная зона которой нередко имеет следы формовочного песка; ее следует удалить на первой операции (переходе). Стальные поковки и штампованные заготовки имеют обезуглероженный поверхностный слой, который снижает износостойкость и сопротивление усталости деталей. Например, при изготовлении режущего инструмента глубина на сторону обезуглероженного слоя (феррит и переходная зона) горячекатаной кованой заготовки из сталей P18 и P9 диаметром 70—80 мм составляет до 1,0 мм, а для сталей P6M3 и P6M5 — до 1,3 мм. Обезуглероженный слой должен быть полностью удален, иначе инструмент будет неработоспособным. Поэтому в условиях инструментального производства основным критерием для выбора припуска является дефектный слой, который обычно удаляется с учетом переходной зоны и составляет значительную часть общего припуска.

Поковки, полученные свободной ковкой, имеют окалину, которую также следует удалить на первой операции.

Приблизительно дефектный поверхностный слой составляет у поковок 1,5—3 мм, у штампованных заготовок 0,5—1,5 мм, у горя-

чекатаного проката 0,5—1,0 мм, у отливок из серого чугуна 1—2 мм, у остальных отливок 1—3 мм. Дефектный поверхностный слой обычно полностью удаляется на первой операции и уже может не учитываться при обработке деталей из цветных металлов и чугуна, начиная со второй операции (перехода), а у остальных деталей — после термической обработки. Наклеп в поверхностном слое заготовки возникает не только после обработки деталей деформирующими или комбинированными методами, но и при обработке резанием. При последующей обработке эту зону следует сохранять, так как она позволяет значительно повысить износостойкость деталей, не подвергающихся термической обработке. Поверхностный слой деталей, подвергающихся термической обработке (например, поверхностной закалке), также желательно сохранить, поскольку с увеличением снимаемого припуска могут значительно снижаться заданные эксплуатационные свойства поверхности.

### 2.3. ОТКЛОНЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Отклонения расположения обрабатываемых поверхностей относительно баз заготовки, образовавшиеся на предшествующей операции (переходе), обычно учитывают на всех стадиях обработки, кроме отделочных.

Отклонение от круглости (овальность, огранка) и отклонение профиля продольного сечения (седлообразность, бочкообразность, конусность) должны быть в пределах поля допуска или составлять часть поля допуска на размер; при расчете припусков они не учитываются (рис. 6, а - г).

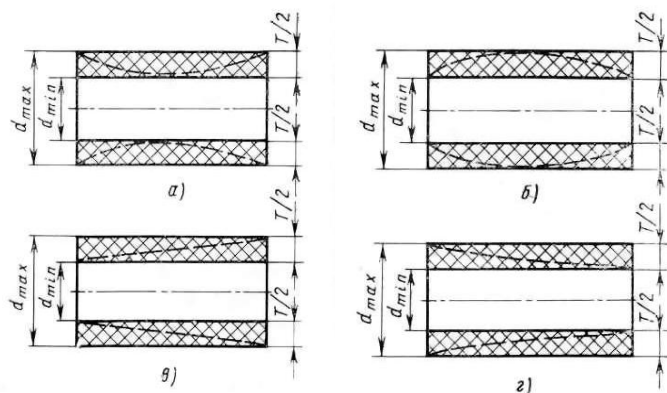


Рис. 6. Отклонения формы обрабатываемых поверхностей, составляющие определенную долю допуска на соответствующий

размер заготовки: а – седлообразное; б – бочкообразное; в,г – конусообразное

Отклонения от соосности обрабатываемых отверстий (рис.7), коробление поверхностей деталей, торцовое и радиальное биение представляют собой суммарные отклонения, имеющие самостоятельное значение и не связанные с допуском на размер обрабатываемой поверхности; они должны учитываться в виде слагаемого так же, как толщина дефектного поверхностного слоя и высота неровностей.

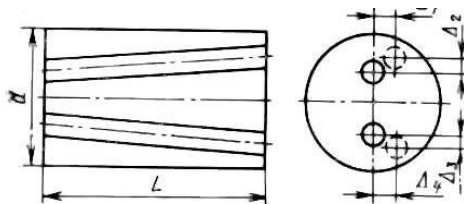


Рис. 7. Отклонения расположения обрабатываемых поверхностей отверстий

Суммарные отклонения, такие, как отклонения от соосности наружной поверхности и отверстия у втулок, дисков и гильз, отклонения от перпендикулярности торцовой плоскости оси, отклонения от параллельности обрабатываемой поверхности и баз заготовки, изогнутость оси вала или отверстия и другие отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз, возникают, например, при изготовлении заготовок или во время их термической обработки.

При закреплении втулки в трехкулачковом патроне наружная поверхность втулки является базой. Если отверстие втулки смещено относительно наружной цилиндрической поверхности на величину  $\Delta_{i-1}$ , то диаметр отверстия при растачивании, компенсируя эти отклонения, будет равняться сумме исходного диаметра отверстия и удвоенной величины суммарного отклонения, т. е.  $D = d + 2 \Delta_{i-1}$  (рис.8,а). Таким образом, составляющая промежуточного припуска, компенсирующая отклонения поверхностей втулки, равна  $2 \Delta_{i-1}$ .

Схема закрепления вала в центрах и обтачивания утолщенной шейки, радиальное биение которой вызвано изогнутостью заготовки, показана на рис. 8, б. Дополнительная составляющая промежу-

точного припуска для компенсации отклонения равна  $2\Delta_{i-1}$ . С целью упрощения расчетов для деталей типа валов  $\Delta_{i-1}$  можно выразить через изогнутость вала. Заменяв искривленную ось ломаной линией и выразив  $\Delta_{i-1}$  через наибольшую изогнутость, приближенно получим

$$\Delta_{i-1} = \operatorname{tg}\beta \cdot l_x = 2 \frac{\Delta_{u3}}{L} l_x,$$

где  $\operatorname{tg}\beta$  — угол между ломаной линией и осью центров;  $l_x$  — расстояние от среднего сечения обрабатываемой шейки до ближайшей опоры;  $\Delta_{u3}$  — наибольшая изогнутость вала;  $L$  — длина заготовки[2].

На расположение обрабатываемых поверхностей влияют не только отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности и т. д., но и схема базирования заготовки на данной операции (переходе). При обтачивании диска (рис. 8, в), у которого ступенька валика расположена с отклонением от соосности, необходимо учесть при расчете слой минимальной толщины  $2\Delta_{i-1} = 2e$ .

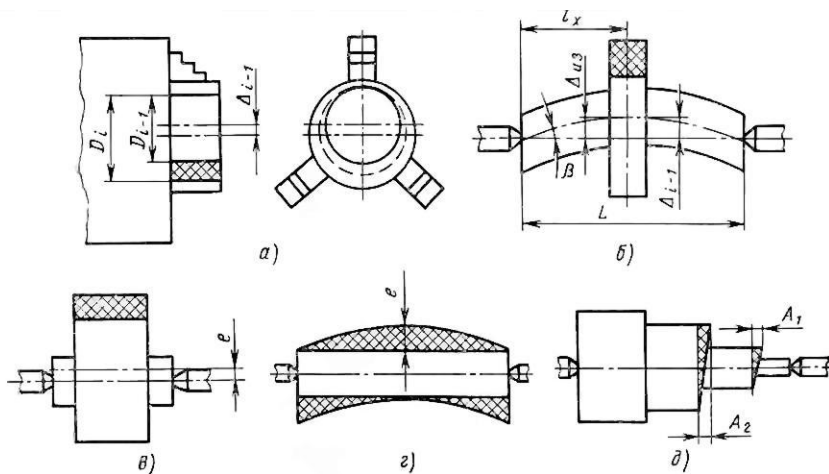


Рис. 8. Примеры отклонения расположения обрабатываемых поверхностей относительно технологической базы

Минимальная толщина слоя для компенсации изогнутости вала (рис. 8, г) и при растачивании разностенной втулки  $2\Delta_{i-1}$  также равна  $2e$ ; для компенсации отклонений от перпендикулярности торца шеек вала (рис. 8, д) необходимо удалить слой толщиной  $\Delta_{i-1} = A_i$ .

Принятая схема базирования и последовательность обработки существенно влияют на заданный припуск, увеличение которого вызвано влиянием отклонений расположения поверхностей заготовки. Например, при обработке заготовок зубчатых колес целесообразно сначала обработать отверстие, а затем другие поверхности. В некоторых случаях отклонения расположения поверхностей необходимо подсчитывать как векторную сумму отдельных составляющих отклонений, каждая из которых представляет собой вектор, поскольку суммарное значение  $\Delta_{i-1}$  определяют как векторную сумму отклонений  $\vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2$ . Если сложно определить направление векторов, то их суммируют по правилу квадратного корня. Таким образом, суммарное отклонение расположения поверхностей после выполнения предшествующей операции (перехода):

$$\Delta_{\sum i-1} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2 + \Delta_C^2}$$

где  $\Delta_A, \Delta_B, \Delta_C$  — отдельные отклонения расположения поверхностей.

При механической обработке может происходить копирование в уменьшенном виде первичных отклонений заготовки.

Суммарное значение отклонений расположения поверхности уменьшается с каждым следующим переходом и рассчитывается, например, для штампованных заготовок, после однократного и чернового точения  $\Delta_{черн} = 0,06 \Delta_{заг}$ , после получистового точения  $\Delta_{п/ч} = 0,05 \Delta_{черн}$ , после чистового точения  $\Delta_{черн} = 0,04 \Delta_{черн}$ .

Для деталей класса «круглые стержни» отклонения расположения поверхности:

$$\Delta_{\sum i-1} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{кор}^2},$$

где  $\Delta_{см}$  — отклонения вследствие смещения;  $\Delta_{кор}$  — отклонение вследствие коробления.



Для деталей класса «диски:

$$\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{эк}^2}.$$

Таким образом, используя формулы и табличные значения их составляющих, можно определить отклонения расположения, полученные на предшествующей операции (переходе).

В некоторых случаях отклонения расположения при расчете припуска могут быть приравнены нулю (при жестком закреплении заготовки или инструмента).

Следующей причиной, вызывающей отклонения расположения поверхностей заготовки, является погрешность ее установки на станке.

## 2.4. ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ

Погрешность установки заготовки  $\varepsilon_i$ , возникающая на выполняемой операции (переходе), характеризуется отклонением фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого (ГОСТ 21495—76).

Нестабильность положения обрабатываемой поверхности заготовок должна быть компенсирована дополнительной составляющей промежуточного припуска. Способ установки может существенно влиять на величину припуска.

Погрешность установки определяется как векторная сумма погрешности базирования  $\varepsilon_{\delta}$  и погрешности закрепления  $\varepsilon_3$ , т. е.

$\vec{\varepsilon}_i = \vec{\varepsilon}_{\delta} + \vec{\varepsilon}_3$ . При обработке поверхностей вращения составляющие формулы приобретают характер векторов, так как могут иметь различные направления.

Погрешность установки, т. е. положения заготовки, определяется возможным смещением ее в ту или иную сторону. Величину этого смещения определяют как векторную сумму.

Погрешность установки как суммарное поле рассеяния выполняемого размера:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2}.$$

Погрешность базирования  $\varepsilon_{\delta}$  представляет собой отклонения фактически достигнутого положения заготовки или детали при базировании от требуемого.

Погрешность базирования определяется суммарным смещением обрабатываемой поверхности вследствие несовпадения

установочной и измерительной баз и наличия зазоров между установочной базой и установочными элементами приспособления.

Погрешность базирования изменяется в зависимости от принятой схемы базирования и может быть определена только при анализе конкретной операции.

Погрешность базирования делает операцию менее точной. Однако в некоторых случаях дорого или невозможно установить деталь так, чтобы в качестве базы использовалась измерительная база, либо трудно, дорого или невозможно измерить размер от базы до обрабатываемой поверхности. Например, при подрезке торца вала в центрах (рис. 9, а) торец является измерительной базой, а центра — технологической базой. При фрезеровании торца корпусной детали, базирующейся на штифты (рис. 9, б), погрешность базирования будет равняться сумме допусков на размеры С и В, т.е.  $\varepsilon_{\delta} = T_1 + T_2$ . При обработке в центрах погрешность базирования вызывает смещение оси центровых гнезд относительно оси обрабатываемой заготовки, т. е. при  $\varepsilon_{\delta} = \varepsilon_3 = 0,25T_3 A_{заг}$ , где  $T_3 A_{заг}$  — допуск на размер заготовки.

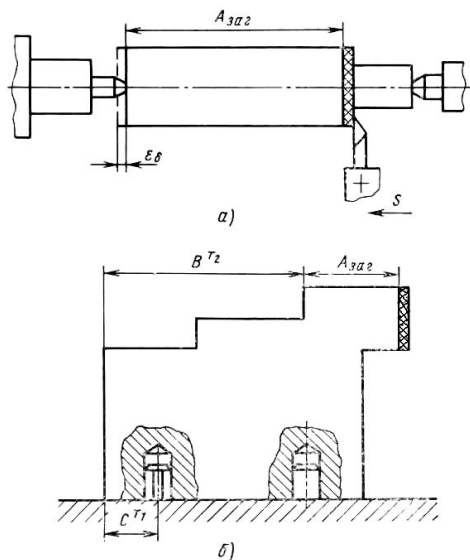


Рис. 9. Примеры несовпадения технологической и измерительной баз, вызывающие погрешность базирования при настроенном на размер инструменте

При последующей обработке деталей в центрах погрешность базирования будет равна нулю.

При установке вала на призме для фрезерования паза, размер которого задан от различных конструкторских баз (от верхней образующей вала, от нижней образующей вала или от оси вала), погрешность базирования наблюдается во всех случаях, так как установочная и измерительная базы не совпадают.

При установке детали на плоскую поверхность, которая является установочной базой (обрабатываемая плоская поверхность является измерительной базой) погрешность базирования неизбежна при настроенном на размер инструменте. Если плоская установочная поверхность является и измерительной базой, то погрешность базирования будет равна нулю.

Для определения припуска наиболее важно знать смещение обрабатываемой поверхности, которое происходит при закреплении заготовки из-за смещения ее баз в результате неточного изготовления и износа установочных элементов приспособления и погрешности выверки в условиях единичного производства деталей.

Закрепление определяется приложением сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании. Погрешность закрепления  $\varepsilon_3$  образуется при зажатии детали. В этом случае может произойти смещение установочных баз под действием сил зажима и их моментов. Обычно наблюдается осадка опор или их перекося и упругие деформации заготовок и приспособлений.

Погрешность закрепления уменьшается, когда точки приложения сил, создающих силовое замыкание и обеспечивающих контакт между поверхностями соединяемых деталей, располагаются над опорными точками сопрягаемых поверхностей деталей. При базировании и закреплении деталей необходимо сделать правильный выбор баз, создать правильное силовое замыкание, уменьшить контактные деформации заготовки, правильно выбрать точки приложения сил, создающих контакт между сопрягаемыми поверхностями деталей, по возможности расположив их против опорных точек, правильно установить последовательность приложения сил, чтобы не вызвать изменения положения детали во время ее закрепления. Некоторые детали отличаются недостаточной жесткостью в одной из двух координатных плоскостей (тонкие диски, кольца, планки). При закреплении таких деталей для обработки на станке в приспособлениях или рабочих местах необходимо увеличить жесткость деталей созданием дополнительного числа опор в плоскостях недостаточной жесткости детали. Силы и их

моменты, создающие силовое замыкание и обеспечивающие непрерывность контакта, должны быть больше сил и их моментов, стремящихся нарушить их контакты в процессе обработки заготовки. При стабилизации силы зажима (пневматическими, гидравлическими и другими устройствами) погрешность закрепления можно принять равной нулю.

Для взаимосвязанных поверхностей, последовательно обработанных при одном закреплении заготовок, погрешность установки можно принять равной нулю (например, при обработке деталей из прутка на токарно-револьверных станках-автоматах). Погрешность установки при обработке заготовок на многопозиционных станках во время смены позиции определяют с учетом погрешности индексации.

В отличие от метода автоматического получения размеров на налаженных станках, рассмотренных выше, при обработке заготовок методом индивидуального получения размеров, погрешность установки заменяется погрешностью выверки заготовки, величину которой выбирают в зависимости от метода выверки по справочникам.

## 2.5. УПРОЩЕННЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНЫХ ПРИПУСКОВ

Минимальный припуск при последовательной обработке поверхностей (односторонний припуск):

$$Z_{\min} = (R_z + h)_{i-1} + \varepsilon_i.$$

Минимальный припуск при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск):

$$2Z_{\min} = 2[(R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i].$$

Минимальный припуск при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2Z_{\min} = 2[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}].$$

В различных технологических условиях некоторые приведенные в формуле слагаемые могут быть приближены к нулю и не учитываться, при этом вид формулы может изменяться.

С учетом конкретных условий технологического процесса обработки деталей формула минимально необходимого припуска может быть уменьшена. Некоторые слагаемые формулы не должны учитываться, как не имеющие места на предшествующем или выполняемом переходе или как не устраняемые на выполняемом

переходе. В большинстве случаев это касается глубины дефектного слоя  $h_{i-1}$  и погрешности установки заготовки  $\varepsilon_i$ . Например, при протягивании отверстий в деталях, устанавливаемых на шаровую опору станка, увод оси не устраняется, погрешности установки не возникают; в этом случае  $\varepsilon_i = 0$ .

В поверхностном слое возникает зона наклепа как результат обработки резанием, пластическим деформированием или комбинированным методом. При последующей обработке эту зону целесообразно сохранить, так как она повышает износостойкость детали. Удалению подлежит лишь некоторая часть наклепанного слоя, которая является дефектной из-за наличия в ней микротрещин. После химико-термической обработки дефектный слой можно принять равным нулю, так как глубину цементации желательнее иметь наибольшую.

После поверхностной закалки поверхностный слой желательно сохранить, так как его механические свойства снижаются с увеличением снимаемого припуска. Распределительный вал двигателя автомобиля отливают с отбеленным поверхностным слоем для повышения его износостойкости. Поэтому в процессе обработки этот слой необходимо сохранить. Припуски в этом случае:

$$2Z_{i \min} = 2(R_{z_{i-1}} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}).$$

При обработке заготовок из серого чугуна дефектный поверхностный слой учитывается только для первого перехода; для дальнейшей обработки глубина дефектного слоя не учитывается в связи с тем, что существенных изменений в поверхностном слое серого чугуна не наблюдается.

При установке заготовки на магнитную плиту (например, при шлифовании) с совмещением установочной и измерительной баз исключается погрешность установки (на магнитной плите погрешность закрепления равна нулю).

При чистовых методах обработки (полировании, суперфинишировании), предназначенных для снижения шероховатости, припуск на обработку, в частности, вала будет определяться высотой неровностей профиля и погрешностями, связанными с наладкой инструмента на размер и его износом, составляющим обычно 1/2 допуска на обработку, т.е.:

$$2Z_{i \min} = 2Rz_{i-1} + 0,5T_i.$$

Таким образом, формула для расчета припуска может принимать различный вид в зависимости от особенностей обработки деталей.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКА ПРИПУСКА И РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНОГО И МАКСИМАЛЬНОГО ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

#### 3.1. ДОПУСК ПРИПУСКА

Размеры обрабатываемых поверхностей после выполнения каждой операции (перехода) колеблются в пределах допуска на выполнение этой операции (перехода). Величина припуска, снимаемого при выполнении последующей операции (перехода), также колеблется. Таким образом, припуск, снимаемый при обработке, колеблется на величину допуска.

Допуск припуска  $TA_i$  определяется разностью максимального и минимального припусков на данную операцию (переход):

$$TA_i = Z_{\max} - Z_{\min}.$$

Допуск общего припуска  $TA_0$  является допуском на соответствующий размер заготовки.

Промежуточным допуском является допустимое отклонение размеров на промежуточной операции (переходе), за которой следует еще одна или несколько операций (переходов) для обработки этой же поверхности.

Обычно промежуточные допуски направлены в тело металла: для охватывающей поверхности — в «плюс», для охватываемой — в «минус», так как в этом случае опасность появления неисправимого брака уменьшается.

Правильное установление допусков  $T$  существенно влияет на качество технологического процесса и себестоимость  $C$  изготовления детали (рис. 10,а)

По мере уменьшения допуска  $T$  увеличивается вероятность появления брака (рис. 10,б).

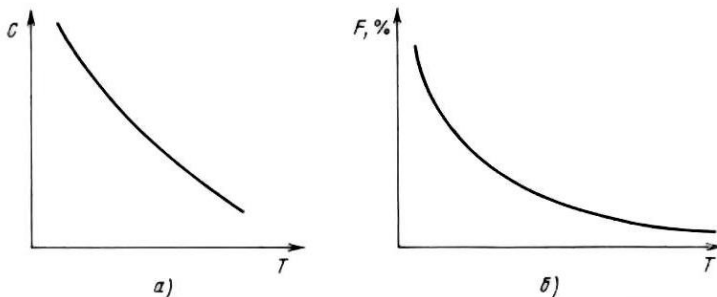


Рис. 10. Зависимость относительной себестоимости  $C$  и возможного брака  $F$  от допуска  $T$

Завышение допуска припуска может привести к снижению стоимости операции, так как обеспечивается возможность работы с повышенными режимами резания, уменьшаются затраты на наладку станка, подналадку и переточку инструмента, появляется возможность использования рабочих более низкой квалификации.

Наряду с этим завышение допуска припуска может вызвать:

- значительное усложнение выполнения технологических операций (переходов) на предварительно настроенных станках;
- увеличение средних припусков, а следовательно, размеров и стоимости изготовления заготовок;
- затруднение настройки станка на размер и работу на нем;
- изменение глубины обработки каждой заготовки обрабатываемой партии и, как следствие, различие размеров заготовок после этой операции (перехода).

Завышение допуска на предыдущей операции (переходе) вызывает увеличение припуска на последующую операцию (переход).

Занижение допуска припуска может вызвать возрастание себестоимости обработки, вероятности появления брака, трудоемкости обработки, а также усложнение наладки оборудования, приспособлений и инструмента.

Таким образом, к выбору допусков на заготовку необходимо подходить очень внимательно. Обычно допуски выбирают по нормативным материалам, в которых указаны наиболее выгодные допуски для каждого вида обработки. Определение оптимальных припусков на обработку связано с установлением предельных промежуточных припусков и размеров заготовки. Знать предельные размеры заготовки необходимо для конструирования или настройки станков, приспособлений, режущего и измерительного инструмента, для конструирования стержневых ящиков, моделей, пресс-форм, штампов для изготовления заготовок, для определения оптимальных режимов резания и расчета нормы времени на выполнение операций.

Все промежуточные размеры связаны между собой и образуют технологические размерные цепи. Размеры поверхности для каждой операции (перехода) начинают рассчитывать с последней операции (перехода). Так как размеры промежуточно припуска выполняются с учетом допуска, то фактическая величина припуска колеблется в определенных пределах. Поэтому различают номинальный (расчетный), минимальный и максимальный (гарантированный) припуски.

### 3.2. НОМИНАЛЬНЫЙ (РАСЧЕТНЫЙ) ПРИПУСК

Общий номинальный припуск определяется разностью номинальных размеров заготовки и готовой детали:

$$2z_{O.H} = d_3 - d_D,$$

или суммой номинальных (расчетных) припусков на отдельные операции (переходы):

$$2z_{O.H} = \sum_{i=1}^n 2z_{iH},$$

где  $2z_{iH}$  — номинальный припуск на отдельные операции (переходы);  $n$  — общее число операций (переходов).

Номинальный припуск на отдельные операции (переходы) рассчитывается по следующим формулам:

- номинальный припуск на диаметр при обработке наружных поверхностей вращения:

$$2z_{iH} = 2z_{i\min} + ei_{di-1} + ei_{di},$$

где  $ei_{di-1}, ei_{di}$  — нижние отклонения размеров на предшествующей и выполняемой операции (переходе) соответственно;

- внутренних поверхностей вращения:

$$2z_{iB} = 2z_{i\min} + ES_{Di-1} - ES_{Di},$$

где  $ES_{Di-1}, ES_{Di}$  — верхние отклонения размеров на предшествующей и выполняемой операции (переходе) соответственно [4].

Номинальные припуски, в частности, необходимы для определения номинальных размеров заготовок, по которым изготавливают технологическую оснастку.

### 3.3. МАКСИМАЛЬНЫЙ (ГАРАНТИРОВАННЫЙ) ПРИПУСК

По максимальному припуску назначают глубину резания, т. е.  $t = z_{\max}$ . Это значение принимают в качестве глубины резания и при выборе мощности привода оборудования [1].

Максимальный припуск на отдельные операции (переходы) при методе автоматического получения размеров рассчитывается по следующим формулам:

- максимальный припуск на диаметр при обработке: внутренних поверхностей вращения:



$$2Z_{i \max} = 2Z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i,$$

наружных поверхностей вращения:

$$2Z_{i \max} = 2Z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i.$$

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

Максимальные промежуточные припуски на обработку рассчитывают с целью определения размеров заготовки по всем технологическим операциям (переходам) от готовой детали до исходной заготовки.

Промежуточные размеры, так же как припуски и допуски, для каждой операции рассчитывают, начиная от последней операции и кончая первой, т. е. в направлении, обратном последовательности прохождения детали по технологическому процессу. Исходными являются размер и допуски, указанные на рабочем чертеже. В результате расчета получаем размеры исходной заготовки, промежуточные размеры заготовок и допуски на них. Промежуточные размеры заготовок для отдельных операций (переходов) проставляют на операционных эскизах (наладках) с учетом припуска на последнюю обработку. По максимальному припуску определяют максимальную силу резания и силы закрепления заготовки в приспособлении. По средней величине припуска определяют стойкость режущего инструмента. Полученные минимальные предельные размеры заготовки по технологическим операциям (переходам) необходимо округлить до расчетного размера путем увеличения для наружных поверхностей и уменьшения для внутренних поверхностей. Округление следует выполнять с точностью до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Величина припуска не должна быть меньше той глубины резания, при которой работа нормально заточенной режущей кромки инструмента становится неустойчивой. Например, остро заточенный резец может снимать стружку толщиной около 5 мкм, но в этом случае режущая кромка быстро затупляется и резец через непродолжительное время может снимать стружку толщиной 10-20 мкм и более.

Определив промежуточные припуски, можно подсчитать предельные размеры заготовок по всем переходам. Промежуточные припуски, поля допусков и предельные размеры нагляднее изображать графически (рис.11). Исходными значениями для этой

схемы являются предельные размеры готовой детали, заданные чертежом.

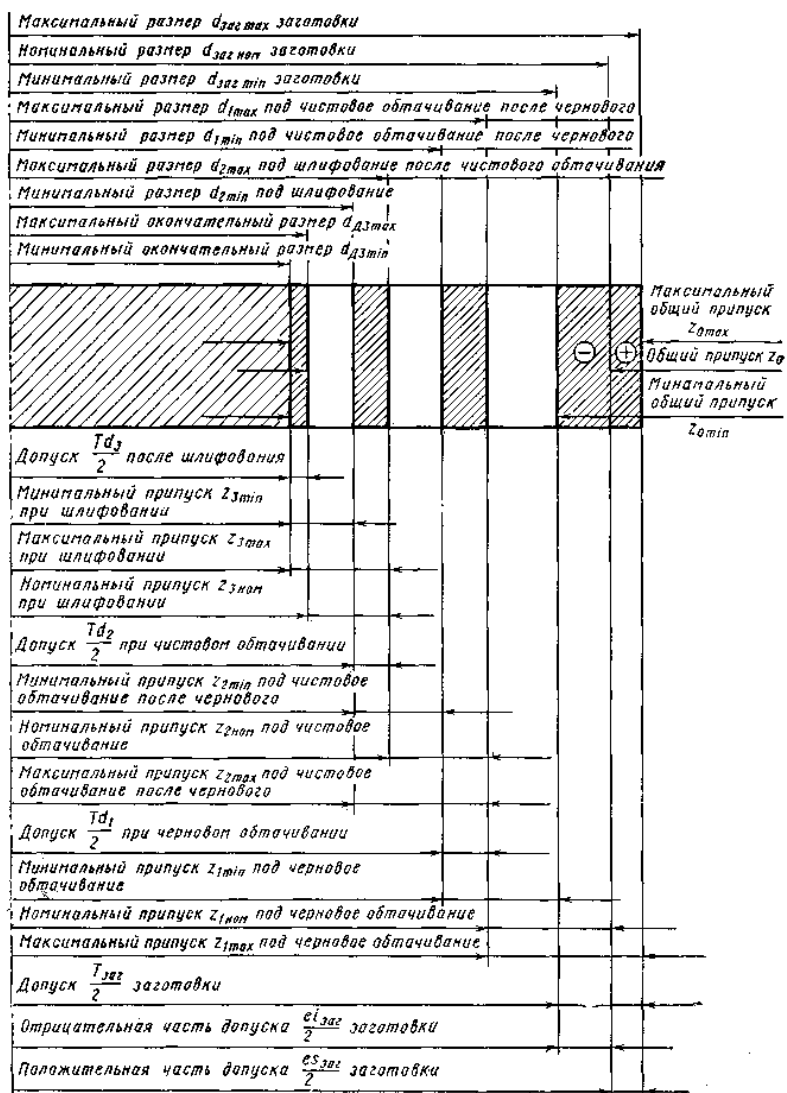


Рис. 11. Схема расположения припусков, допусков и предельных размеров на обработку поверхности вала

От минимального окончательного размера детали  $d_{ДЗ\min}$  откладываем минимальный припуск  $z_{3\min}$  на шлифование после чистового обтачивания.

Прибавив к этому размеру минимальный припуск  $z_{2\min}$  на чистовое обтачивание, получим минимальный размер  $d_{1\min}$  под чистовое обтачивание после черногового. Затем, прибавив к этому размеру минимальный припуск  $d_{заг\min}$  заготовки. Максимальный размер  $d_{заг\max}$  заготовки получим, если к её минимальному размеру  $d_{заг\min}$  прибавим допуск  $Td_{заг}$  на изготовление заготовки. При определении припуска необходимо учитывать метод достижения заданного размера. При обработке партии заготовок за один переход методом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках следует учитывать упругие отжата в технологической системе (рис. 12,а). Например, при обработке заготовки, имеющей наибольший предельный размер  $A_{i-1}^{\max}$ , выдерживаемый размер  $A_i^{\max}$  также получается наибольшим и, наоборот, при наименьшем предельном размере заготовки  $A_i^{\min}$  после обработки (рис.12,б).

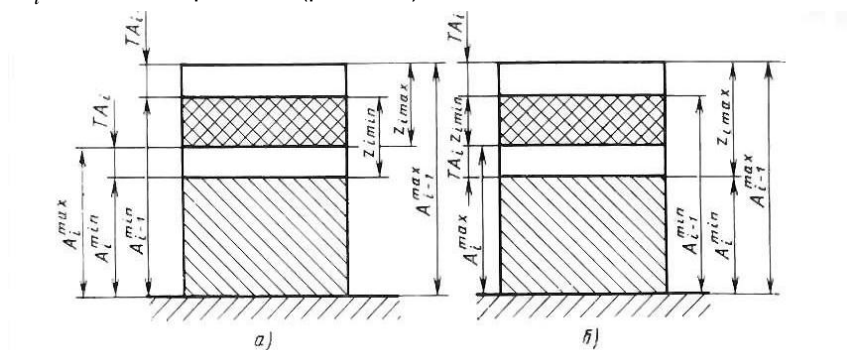


Рис. 12. Схемы для определения минимального и максимального промежуточных припусков

Предельные значения припуска и промежуточные размеры при обработке за один переход на предварительно настроенных станках с учётом влияния упругих отжатий в технологической системе определяются по формулам (рис.13, а):

$$A_{i-1}^{\max} = A_{i-1}^{\min} + TA_{i-1}; \quad A_i^{\max} = A_i^{\min} + TA_i$$

$$Z_{i \min} = A_{i-1}^{\min} - A_i^{\min} \quad ; \quad Z_{i \max} = A_{i-1}^{\max} - A_i^{\max}$$

или

$$Z_{i \max} = (A_{i-1}^{\min} + TA_{i-1}) - (A_i^{\min} + TA_i) = (A_{i-1}^{\min} - A_i^{\min}) + TA_{i-1} - TA_i = Z_{i \min} + TA_{i-1} - TA_i$$

При применении методов обработки, исключаящих влияние упругих отжатий в технологической системе, или при многопереходной обработке предельные значения припуска и промежуточные размеры будут определяться по формулам:

$$A^{\max}_{i-1} = A^{\min}_{i-1} + TA_{i-1};$$

$$A^{\min}_i = A^{\max}_i - TA_i;$$

$$Z_{i \min} = A^{\min}_i - A^{\max}_i;$$

$$Z_{i \max} = A^{\max}_{i-1} - A^{\min}_i;$$

$$\begin{aligned} Z_{i \max} &= (A^{\min}_{i-1} + TA_{i-1}) - (A^{\max}_i - TA_i) = \\ &= (A^{\min}_{i-1} - A^{\max}_i) + TA_{i-1} + TA_i = Z_{i \min} + TA_{i-1} + TA_i. \end{aligned}$$

Заготовки с различными предельными размерами, обрабатываемые с настроенным на размер  $C_H$  инструментом, в связи с меняющимися значениями упругих перемещений  $y$  будут иметь различный выдерживаемый размер.

Таким образом, для охватываемой поверхности (вал) с учётом влияния упругих перемещений в технологической системе (рис. 13,а), предельные значения припуска и промежуточные размеры будут следующие:

$$d^{\max}_{i-1} = d^{\max}_i + 2z_{i \max} \quad \text{или} \quad d^{\max}_{i-1} = d^{\max}_i + Td_{i-1} + 2z_{i \min}$$

;

$$d^{\min}_{i-1} = d^{\max}_i + 2z_{i \max} - Td_{i-1} \quad \text{или} \quad d^{\min}_{i-1} = d^{\min}_i + 2z_{i \min};$$

$$2z_{i \max} = d^{\max}_{i-1} - d^{\max}_i \quad \text{или} \quad 2z_{i \max} = 2z_{i \min} + Td_{i-1} - Td_i$$

$$2z_{i \min} = d^{\min}_{i-1} - d^{\min}_i.$$

Для охватываемой поверхности при методах обработки, исключающих влияние упругих отжати, предельные значения припуска и промежуточных размеров будут следующие:

$$d^{\max}_{i-1} = d^{\min}_i + 2z_{i \max} \text{ или } d^{\max}_{i-1} = d^{\max}_i + Td_{i-1} + 2z_{i \min};$$

$$d^{\min}_{i-1} = d^{\min}_i + 2z_{i \max} - Td_{i-1} \text{ или } d^{\min}_{i-1} = d^{\max}_i + 2z_{i \min}.$$

Для охватывающей поверхности (отверстия) с учётом влияния упругих перемещений в технологической системе (рис.13,б) предельные значения припуска и промежуточные размеры следующие:

$$D^{\min}_{i-1} = D^{\min}_i - 2z_{i \min} \text{ или } D^{\min}_{i-1} = D^{\max}_i - 2z_{i \min} + Td_{i-1};$$

$$D^{\max}_{i-1} = D^{\max}_i - 2z_{i \min} + Td_{i-1} \text{ или } D^{\max}_{i-1} = D^{\max}_i - 2z_{i \min}.$$

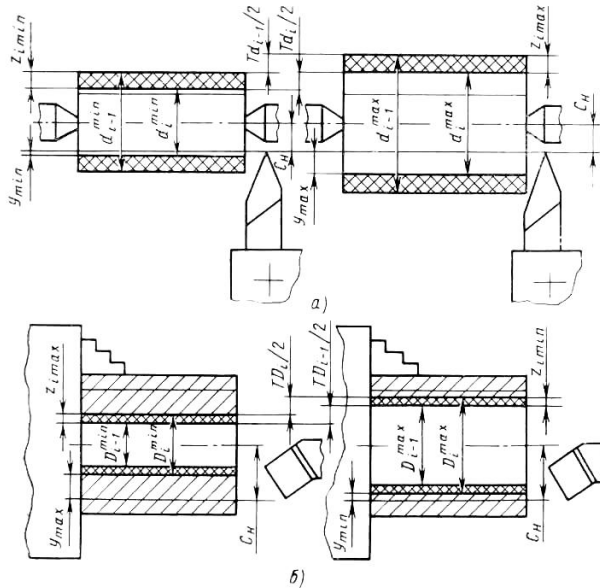


Рис. 13. Схемы для определения минимального и максимального промежуточных припусков при обработке на настроенных станках

Для охватывающей поверхности (отверстия) при методах обработки, исключающих влияние упругих отжати, значения припуска и промежуточных размеров будут следующие:

$$D^{\min}_{i-1} = D^{\max}_i - 2z_{i-1\max} \text{ или } D^{\min}_{i-1} = D^{\min}_i - 2z_{i\min} - TI_{i-1},$$

$$D^{\max}_{i-1} = D^{\max}_{i-1} - 2z_{i-1\max} + TD_{i-1} \text{ или}$$

$$D^{\max}_{i-1} = D^{\min}_i - 2z_{i\min}.$$

Для проверки правильности проведённых расчётов необходимо сопоставить разность припусков  $2z_{i\max} - 2z_{i\min}$  и допусков  $Td_{i-1} - Td_i$ . При этом разности допусков на операционные размеры, а разность общих припусков – разности допусков на размеры исходной заготовки и готовой детали.

Все промежуточные размеры, будучи связаны друг с другом, образуют технологические размерные цепи. Размеры, входящие в качестве звеньев, являются расчётными (номинальными). Припуск является замыкающим звеном определённой размерной цепи, так как с его помощью формируется контур размеров на предшествующей и выполняемой операции (переходе). Размеры, входящие в качестве звеньев в размерную цепь, являются расчётными (номинальными) (рис.14). В этом случае:

$$[z] = A_1 - A_2.$$

Размер  $A_{заг}$  (рис.15) связан с размером готовой детали  $A_0$  промежуточными размерами  $A_1, A_2$  и размерами припусков  $z_1, z_2, z_3, z_4$  на обработку. Уравнение размерной цепи в этом случае может быть записано следующим образом:

$$A_{заг} - z_1 - z_2 - z_3 - z_4 - A_0 = 0,$$

где  $z_1 = A_{заг} - A_1; z_2 = A_1 - A_2; z_3 = A_2 - A_3; z_4 = A_{заг} - A_0$

Аналогично строится размерная цепь для получения, требуемого диаметрального размера:

$$d_{заг} - 2z_1 - 2z_2 - d_0 = 0,$$

где  $2z_1 = d_0 - d_1; 2z_2 = d_1 - d_0$ .

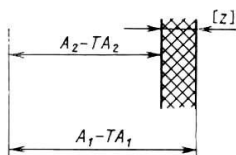


Рис. 14. Простейшая размерная цепь

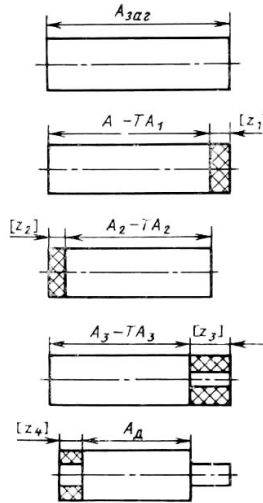


Рис. 15. Схема образования промежуточных размеров в технологических размерных цепях

В размерных цепях удобнее пользоваться не звеньями-диаметрами (т. е.  $2z$ ), а значением  $z$  так как упрощается методика расчетов. Но в некоторых случаях, например при съеме асимметричного припуска, удвоенный припуск оказывается неверным. Использование в расчётах неудвоенного припуска и звеньев-радиусов обеспечит более точный результат.

При обработке деталей с высокими требованиями к качеству поверхности на отделочных операциях величина снимаемого припуска заранее может быть регламентирована, например, при притирке и суперфинишировании рекомендуемая величина припусков составляет 0,005 - 0,05 мм. В этом случае припуск можно принять за составляющее звено, а окончательный размер детали – за замыкающее звено, т. е.  $[A_2] = A_1 - z$ . Когда же замкнутая поверхность является базой для данной операции и на этой операции её подвергают обработке, припуск будет примерно равен расстоянию между упором и режущими кромками инструмента; при этом он зависит от точности установки режущего инструмента относительно упора и является составляющим звеном (рис.16).

Уравнение размерной цепи для этого случая  $[A_2] = A_1 - z$ .

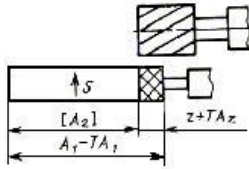


Рис. 16. Схема обработки незамкнутой поверхности, являющейся базой на данной операции

Допуск припуска  $TA_z$  может быть найден, как для составляющего звена-размера.

После назначения допусков на размеры необходимо провести проверку с целью возможности обеспечения при выбранном варианте обработки заданных чертежом размеров, что потребует выполнения размерного анализа технологического процесса в целом.

Размерный анализ технологических процессов имеет три разновидности, различающиеся по способу выполнения. В первом случае проводится размерный анализ вновь проектируемого технологического процесса, причём исходным документом является только чертёж детали и заготовки. Во втором случае исходными документами являются чертежи детали и заготовки. В третьем случае проводится анализ технологического процесса, не обеспечивающего по какой-то технологической причине показатели качества или расхода материала. При этом выявляются связи параметров различных операций, затем путём решения размерных цепей устанавливаются значения промежуточных припусков и определяются возможные пути совершенствования технологического процесса.

Например, для обеспечения правильного базирования ступенчатого вала вдоль его оси применяют упор торцом и центрирование пружинным центром со стороны передней бабки. Установка инструментов для обработки торцов вала осуществляется от упора до торца вала. В этом случае погрешность размера по длине вала будет отражаться только на погрешности правой крайней его ступени. Если замыкающим звеном размерной цепи является размер средней ступени вала, появляется погрешность базирования. С целью повышения точности размера длины ступени необходимо совместить измерительную и установочную базы, ужесточить допуск на общую длину вала и допуск тех ступеней, погрешность размеров которых повлияет на точность обработки других ступеней. В тех случаях, когда заданные допуски меньше погрешности



расположения измерительной базы и погрешности обработки, возникающая погрешность базирования не позволит достичь нужной точности обработки. В этом случае требуется ужесточить допуск на расположение измерительной базы или использовать упор в торец ступени, соответствующей измерительной базе при координатной расстановке размеров, либо в торец, от которого поставлен размер с наиболее жестким допуском.

На практике не всегда удается выполнить заданные условия обработки и в этом случае следует изменить расстановку размеров таким образом, чтобы крайней ступени оказался замыкающим звеном размерной цепи. При упоре поочередно в торцы вала во время обработки его ступеней возникает погрешность по длине средней ступени.

Обработка различных по конструкции деталей имеет свои особенности.

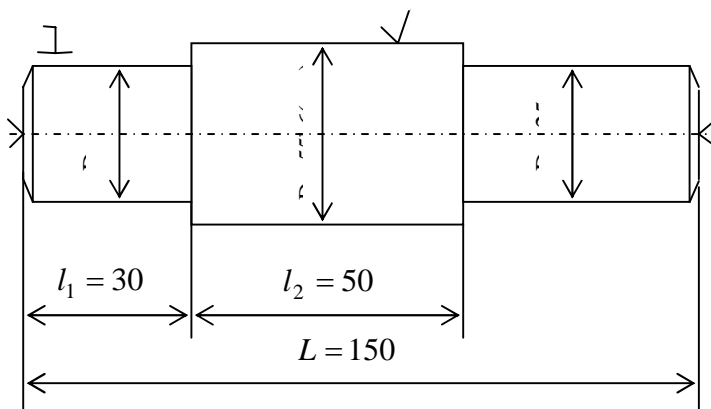
Например, при обработке коленчатых валов форма, размеры и положение центровых отверстий значительно влияют на точность обработки, в частности на биение базовых коренных шеек. В некоторых случаях необходимо ввести операцию перецентрирования коленчатых валов для исправления формы центровых поверхностных отверстий после обтачивания вследствие их “выработки”. Перецентрирование валов может быть проведено путём растачивания конических поверхностей центровых отверстий перед шлифованием шеек. Для ориентации по углу у шатунных шеек обрабатывают вспомогательные базы, например отверстия или площадки на щёках. Таким образом, при расчёте припусков необходимо хорошо изучить весь процесс обработки деталей и особое внимание уделить смене баз, чтобы не ошибиться в оценке погрешности установке деталей на станке. Например, при обработке крупных блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания ориентирование блоков по необработанным отверстиям под гильзы и по гнёздам коренных подшипников вызвано стремлением обеспечить снятие равномерных припусков при последующей обработке, когда блок будет базироваться по поверхностям, положение которых согласовано с положением посадочных поверхностей под гильзы и подшипники. Блок может быть прижат к установочному элементу, ориентирующему продольную плоскость симметрии необработанных пазов, т. е. Будущих гнёзд под вкладыши. Если вспомогательные базы обработаны по обеим необработанным поверхностям, которые в дальнейшем будут обработаны для установки гильз, а обработка стыка с поддонном и головкой проведена на базе плоскостей приливов, то плоскости стыков будут перпендикулярны осям поверхностей под пояски гильз. В этом случае при растачи-

вании будет сниматься симметричный припуск на обоих посадочных поясах для гильз.

### 5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРИПУСКА НА НАРУЖНУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ВАЛА РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Заготовка – штамповка 2-го класса точности (нормальный), материал – сталь 45, масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала правка на прессе и фрезерно – центральная (профрезерованы торцы и зацентрированы отверстия) операция. Базирование на этой операции осуществлялось по поверхностям  $D_1$  и  $D_3$  ( $D_1 = D_3 = 25$  мм). Рассчитать припуск для поверхности  $D_2 = 55h6(-_{0,02})$  (при обработке в центрах).

Результаты расчета припусков приведены в таблице 1.



*Графа 1.* Определяем количество переходов для токарной операции. По таблице 23 [1, с.147] находим допуск заготовки  $T_{dз} = 2$  мм. Допуск детали задан:  $T_{d\partial} = 0,02$  мм. Вычисляем коэффициент ужесточения точности размера:

$$K = \frac{T_{dз}}{T_{d\partial}} = \frac{2}{0,02} = 100.$$

Рассчитываем количество необходимых переходов:

$$n = \frac{\lg K}{0,46} = \frac{1,9542}{0,46} = 4,2.$$

Принимаем 4 перехода. Устанавливаем по таблице А3 (см. Приложение А), что допуск заготовки  $T_{d_3} = 2$  мм соответствует 16 квалитету. Из условия задачи следует, что поверхность  $D_2$  должна быть выполнена по 6 квалитету. Следовательно, точность повышается на  $16 - 6 = 10$  квалитетов. Распределим разность по 4-м технологическим переходам по закону прогрессивного убывания:  $10 = 4 + 3 + 2 + 1$ . Точность промежуточных размеров заготовки в процессе механической обработки будет соответствовать:

после 1 – го перехода - 12 – квалитету;

после 2 – го перехода - 9 – квалитету;

после 3 – го перехода - 7 – квалитету;

после 4 – го перехода – 6 – му квалитету.

Вид обработки принимаем в соответствии с установленными квалитетами по таблице А1 (см. Приложение А): точение черновое, чистовое, шлифование предварительное, окончательное.

*Графы 2,3.* Принимаем значения  $R_z$  и  $h$  для штамповки – по таблице А18 (см. Приложение А), а для механической обработки – по таблице А23.

*Графа 4.* Для штамповки учитываются отклонения оси деталей от прямолинейности (кривизна), погрешность центрования, т.е. смещение оси заготовки в результате погрешности центрования по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_k}^2 + \Delta_y^2},$$

где  $\Delta_{\Sigma_k}$  - общее отклонение оси от прямолинейности [1, с. 177]

$$\Delta_{\Sigma_k} = \Delta_k \cdot L.$$

Для определения удельной кривизны  $\Delta_k$  по таблице А19 (см. Приложение А) надо рассчитать средний диаметр заготовки  $D_{cp}$  по формуле:

$$D_{cp} = \frac{D_1 \cdot l_1 + D_2 \cdot l_2 + D_3 \cdot l_3}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35 \text{ мм.}$$

Тогда  $\Delta_{\kappa} = 0,15 \frac{\text{МКМ}}{\text{ММ}}$  (после правки на прессе).

$$\Delta_{\Sigma\kappa} = 0,15 \cdot 150 = 22,5 \text{ мкм.}$$

$\Delta_{\psi}$  - смещение оси заготовки в результате погрешности центрования [1, с.178]:

$$\Delta_{\psi} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}$$

где  $T = 1,8 \text{ мм}$  [1, с. 147] – допуск на диаметр базы заготовки, использованной при центровании.

$$\Delta_{\psi} = 0,25\sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5 \text{ мм.}$$

$$\text{Тогда } \Delta_{\Sigma} = \sqrt{22,5^2 + 500^2} = 500 \text{ мкм.}$$

Для механической обработки погрешность  $\Delta_{\Sigma}$  определяется с учетом коэффициента уточнения  $K_y$  (см. табл. А7) по формуле:

$$\Delta_{\Sigma i} = \Delta_{\Sigma i-1} \cdot K_y.$$

Таким образом, для черногого обтачивания:

$$\Delta_{\Sigma \text{черн}} = \Delta_{\Sigma \text{заг}} \cdot K_{y \text{черн}} = 500 \cdot 0,06 = 30 \text{ мкм.}$$

для чистового обтачивания:

$$\Delta_{\Sigma \text{чист.}} = \Delta_{\Sigma \text{черн}} \cdot K_{y \text{чист}} = 30 \cdot 0,04 = 1,2 \text{ мкм.}$$

**Графа 5.** Погрешность установки заготовки в центрах при токарной обработке  $\varepsilon = 0$ .

**Графа 6.** Рассчитываем минимальный припуск по формуле

$$2z_{i \min} = 2 \cdot \left[ (R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right],$$

где  $R_{zi-1}$  - высота неровностей профиля на предшествующем переходе;

$h_{i-1}$  - глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  - суммарные отклонения расположения поверхности и иногда отклонения формы поверхности на предшествующем переходе;

$\varepsilon_i$  - погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Таблица 1

Результаты расчета припусков на обработку наружной поверхности вала диаметром  $55h6_{(-0,02)}$ 

Маршрут обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2 \cdot z_{\min}$ , мкм	Расчетный диаметр $d_{\min}$ , мм	Допуск, мкм	Принятые (округленные) размеры по переходам, мм		Полученные предельные припуски, мкм		
	$R_z$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$d_{\max}$	$d_{\min}$	$2 \cdot z_{\max}$	$2 \cdot z_{\min}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Штамповка 16 квалитет	16 0	20 0	500	-	-	57,122	2000	60	58,0	-	-	
Точение: черновое 12 квалитет чистовое 9 квалитет	50	50	30	0	1720	55,402	300	55,7	55,4	4300	2600	
	25	25	1,2	0	260	55,142	74	55,216	55,142	484	258	
Шлифование: предварительн. 7 квалитет окончательное 6 квалитет	10	20	-	0	102	55,04	30	55,07	55,04	146	102	
	-	-	-	0	60	54,98	20	55,00	54,98	70	60	
$\Sigma$									5000	3020		

*Графа 7* заполняется снизу, т.е. в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки данной поверхности (от размера готовой детали к размеру заготовки). Нижняя строчка заполняется в соответствии с чертежом ( $d_{\min} = 54,98$  мм).

Затем вверх по графе записываем значения  $d_{\min}$ , рассчитанные по формуле:  $d_{\min i} = d_{\min i-1} + 2 \cdot z_{\min i-1}$

Таким образом,  $d_{\min \text{ шл. пред.}} = 54,98 + 0,06 = 55,04$  мм;

$$d_{\min \text{ моч.чист.}} = 55,04 + 0,102 = 55,142 \text{ мм};$$

$$d_{\min \text{ моч.черн.}} = 55,142 + 0,260 = 55,402 \text{ мм};$$

$$d_{\text{заг.}} = 55,402 + 1,720 = 57,122 \text{ мм}.$$

*Графа 8.* Допуск заготовки устанавливаем по таблице 23 [1, с.147] -  $T_{d_3} = 2000$  мкм, допуски для механической обработки – по таблице А1 (см. Приложение А), последняя строчка графы 8 заполняется в соответствии с чертежом -  $T_{d_0} = 20$  мкм.

Затем заполняем *графу 10*. Округляем значения  $d_{\min \text{ расч.}}$  (из графы 7) в сторону увеличения до того знака, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

*Графа 9.* Максимальный диаметр для каждого перехода определяем по формуле:  $d_{\max} = d_{\min} + Td$ .

*Графа 11.* Максимальный припуск:  $2z_{\max i} = d_{\max i-1} - d_{\max i}$ , где  $d_{\max i}, d_{\max i-1}$  - округленные значения (из графы 9).

*Графа 12.* Минимальный припуск:  $2z_{\min i} = d_{\min i-1} - d_{\min i}$ , где  $d_{\min i}, d_{\min i-1}$  - округленные значения (из графы 10).

Общие припуски:  $z_{0\max} = \Sigma 2 \cdot z_{\max}$

$$z_{0\min} = \Sigma 2 \cdot z_{\min}$$

Проверка:

$$z_{0\max} - z_{0\min} = Td_3 - Td_0$$

$$\Sigma 2 \cdot z_{\max} - \Sigma 2 \cdot z_{\min} = 5000 - 3020 = 1980 = Td_3 - Td_0 - \text{верно}$$

Для чертежа заготовки: Для номинального размера заготовки принимаем наибольший размер заготовки  $d_{\max}$ , скорректированный в соответствии с рядом предпочтительных чисел [6], а на чертеже указывают  $d_{\max(-Td_3)}$ .

Чертежный размер заготовки  $60_{-2}$ .

Для расчета режима резания: Для каждого перехода определяем глубину резания по формуле:  $t_{рез} = \frac{2z_{\max}}{2}$ . Например, глубина резания для черногого точения:

$$t_{рез}^{черн\ точ} = \frac{2z_{\max}^{черн\ точ}}{2} = \frac{4300}{2} = 2150 \text{ мкм.}$$

## 6. ОПЫТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ

Опытно-статистический метод определения промежуточных припусков состоит в том, что по специальным таблицам выбирают общий припуск на каждую поверхность изделия, получая таким образом размеры заготовки, а затем производят определение операционных и промежуточных размеров и допусков.

Расчет припусков начинают с последней (финишной) операции обработки. По таблицам 1-12 соответствующих видов обработки [3, 4, 5] устанавливают размеры промежуточных припусков на каждую операцию и затем определяют промежуточные размеры заготовки.

Исходными данными для расчета припусков являются: принятый способ получения заготовок (прокат, различные методы литья, ковка и штамповка), принятый технологический процесс обработки; место установки и закрепления заготовки на каждой операции; принятые приспособления и режущие инструменты для каждой операции).

Для удобства расчетов рекомендуется составить таблицу (см. табл.14). После определения промежуточных и окончательных размеров заготовки определяют ее конфигурацию и выполняют чертеж исходной заготовки с указанием ее номинальных размеров и соответствующих допусков.

Таблица 2

## Припуски на чистовое подрезание торцов и уступов

Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Припуски, мм, при общей длине обрабатываемой заготовки, мм					
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 260	св. 260 до 500	св. 500
До 30	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
30–50	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
50–120	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
120–260	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4
Св. 260	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5

*Примечание.* При обработке валов с уступами припуск брать на каждый уступ отдельно, исходя из его диаметра и общей длины.

Таблица 3

## Промежуточные припуски (мм) и допуски (мм) на обработку наружных цилиндрических поверхностей при черновом и чистовом точении

Диаметр вала, мм	Припуск на диаметр при расчетной длине, мм					Допуск на диаметр
	до 100	до 250	до 400	до 630	до 1000	
До 6	2,5/1	3/1,1	3,5/1,1	—	—	-0,30/- 0,08
6–10	3,0/1,2	3,5/1,5	3,5/1,5	3,5/1,5	4,0/2,0	-0,36/- 0,10
10–18	3,0/1,2	3,5/1,5	3,5/1,5	4,0/1,5	— /2,0j	-0,43/- 0,12
18–30	3,5/1,5	3,5/1,5	3,5/1,5	4,0/2,0	5,0/2,0	-0,52/- 0,14
30–50	4,0/1,5	4,5/1,5	4,5/2,0	5,0/2,0	5,5/2,5	-0,62/- 0,17
50–80	4,0/2,0	4,5/2,0	4,5/2,0	5,5/2,5	5,5/2,5	-0,74/- 0,20
80–120	5,5/2,0	6,0/2,0	7,0/2,0	7,5/2,5	8,5/2,5	- 0,87/- 0,23
120–200	6,0/2,0	7,0/2,5	7,5/2,5	8,0/3,0	9,0/3,0	-/-0,87

*Примечания:* 1. В числителе даны значения при черновом точении, в знаменателе – при чистовом. 2. При обработке заготовки с уступами припуск выбирают по отношению к общей длине. 3. Припуски на чистовое точение даны для случая, когда заготовка подвергается черновому точению.



Таблица 4

Припуски на обтачивание под центровое шлифование сырых валов

Диаметр детали, мм	Припуски, мм на диаметр при длине детали, мм					Допуск, мм
	до 100	100-250	250-500	500-800	800-1200	
До 10	0,2	0,3	0,3	0,4	—	-0,10
10-18	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	-0,12
18-30	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	-0,14
30-50	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	-0,17
50-80	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	-0,20
80-120	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	-0,23
120-180	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	-0,26
180-260	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	-0,30

*Примечание:* Припуск на шлифование закаливаемых валов длиной до 100 мм принимается таким же, как и при сырых валах. При большей длине закаливаемого вала припуск на его шлифование берется на 0,1 мм больше припуска для сырого вала.

Таблица 5

Припуски на переход при обработке плоскостей

Способ обработки плоскости	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности, мм							
	до 50	50-120	120-260	260-500	500-800	800-1250	1250-2000	2000-3151
Черновая и однократная обработка лезвийным инструментом после литья: в песчаную форму I класса точности	0,9	1,1	1,5	2,2	3,1	4,5	7,0	10,0
в песчаную форму III класса точности	1,0	1,2	1,6	2,3	3,2	4,6	7,1	11,0
в постоянную форму (кокиль)	0,7	0,8	1,0	1,6	2,2	3,1	4,6	7,0
в оболочковую форму	0,5	0,6	0,8	1,4	2,0	2,9	—	—
по выплавляемой модели	0,3	0,4	0,5	0,8	—	—	—	—

Окончание табл. 5

Способ обработки плоскости	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности, мм							
	до 50	50-120	120-260	260-500	500-800	800-1250	1250-2000	2000-3151
Получистовая обработка лезвийным инструментом после черновой	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40	0,50	0,65
Чистовая обработка лезвийным инструментом после получистовой	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,20
Предварительное и однократное шлифование после чистовой обработки лезвийным инструментом	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08
Чистовое шлифование после предварительного	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05

Таблица 6

Припуски на ширину пазов, мм

Ширина паза	Чистовое фрезерование после чернового	Шлифование пазов у термически обработанных и необработанных деталей после чистового фрезерования
2–6	1,5	0,5
6–10	2,0	0,7
10–50	3,0	1,0
50–120	4,0	1,0

Таблица 7

Припуски и допуски на диаметр (мм) при чистовом растачивании отверстий

Диаметр вала, мм	Припуск на диаметр при расчетной длине, мм, до							Допуск на диаметр
	25	63	100	160	250	400	630	
До 10	1,0	1,1	1	—	—	—	—	+0,20
10—18	1,2	1,3	1,3		—	—	—	+0,24
18—30	1,3	у	1,4	1,4	—	—	—	+0,28
30—50	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	—	—	+0,34

Таблица 8

Припуски и допуски (мм) на тонкое (алмазное) растачивание отверстий

Диаметр отверстия, мм	Припуск для обработки				Допуск (+) на предварительную обработку по 8-му и 9-му квалитетам
	легких сплавов	баббитов и чугуна	бронзы	стали	
До 30	0,2/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1	0,2/0,1	0,04
31—50	0,3/0,1	0,4/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1	0,05
51—120	0,4/0,1	0,5/0,1	0,3/0,1	0,2/0,1	0,07
121—260	0,5/0,1	0,6/0,2	0,4/0,1	0,3/0,1	0,09
261—500	0,5/0,1	0,6/0,2	0,4/0,1	0,3/0,1	0,12
501—800	—	—	0,5/0,2	0,4/0,1	0,15
801—1000	—	—	0,6/0,2	0,5/0,2	0,17

*Примечания:* 1. При однопереходном растачивании припуск определяют как сумму припусков на предварительное и окончательное растачивание.  
2. В числителе даны значения припуска для предварительной обработки, в знаменателе – для окончательной.

Таблица 9

Припуски и допуски (мм) на диаметр под шлифование отверстий

Диаметр отверстия, мм	Припуск по длине отверстия, мм, до					Допуск
	50	100	200	300	500	
До 10	0,2/0,3	—	—	—	—	+0,10
10—18	0,3/0,3	0,3/0,4	—	—	—	+0,12
18—30	0,3/0,4	0,4/0,4	0,4/0,4	—	—	+0,14
30—50	0,4/0,4	0,4/0,4	0,4/0,5	0,4/0,5	—	+0,17
50—80	0,4/0,4	0,4/0,5	0,4/0,5	0,4/0,5	—	+0,20
80—120	0,5/0,5	0,5/0,5	0,5/0,6	0,5/0,6	0,6/0,7	+0,23
120—180	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,7	+0,26
180—260	0,6/0,7	0,6/0,7	0,7/0,7	0,7/0,7	0,7/0,8	+0,30
260—360	0,7/0,7	0,7/0,8	0,7/0,8	0,8/0,8	0,8/0,9	+0,34
360—500	0,8/0,8				0,8/0,9	+0,38

*Примечание.* В числителе даны значения для незакаленных заготовок, в знаменателе — для закаленных.

Таблица 10

Припуски на зенкерование

Диаметр зенкера, мм	15—20	25—30	40—45	50—60	70	80
Припуск на сторону, мм	0,5	0,75	1,0	1,5	1,75	2,0

Таблица 11

Припуски на развертывание

Вид припуска	Припуски, мм, при диаметре отверстия				
	12—18	18—30	30—50	50—75	100
Общий на черновое и чистовое развертывание	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
На черновое развертывание	0,10—0,11	0,14	0,18	0,20—0,22	0,30
На чистовое развертывание	0,04—0,05	0,06	0,07	0,08—0,10	0,10

Таблица 12

Припуски на обработку отверстий в сплошном материале по 7-му и 8-му квалитетам

Диаметры отверстий			Сверление		Чистовое растачивание		Зенкование	Предварительное развертывание
Номинал	Допуск		Первое сверло	Второе сверло	Номинал	Допуск по Н11		
	по Н7	по Н8						
3	+0,11	+0,014	2,9	—	—	—	—	—
4	+0,012	+0,018	3,9	—	—	—	—	—
5	+0,012	+0,018	4,8	—	—	—	—	—
6	+0,012	+0,018	5,8	—	—	—	—	—
7	+0,015	+0,022	6,8	—	—	—	—	—
8	+0,015	+0,022	7,8	—	—	—	—	7,96
9	+0,015	+0,022	8,8	—	—	—	—	8,96
10	+0,015	+0,022	9,8	—	—	—	—	9,96
11	+0,018	+0,027	10	—	—	—	10,79	10,95
12	+0,018	+0,027	11	—	—	—	11,79	11,95
13	+0,018	+0,027	12	—	—	—	12,79	12,95
14	+0,018	+0,027	13	—	—	—	13,79	13,95
15	+0,018	+0,027	14	—	—	—	14,79	14,95
16	+0,018	+0,027	15	—	—	—	15,79	15,95
18	+0,018	+0,027	17	—	—	—	17,79	17,95
20	+0,021	+0,033	18	—	19,8	+0,13	19,75	19,94
22	+0,021	+0,033	20	—	21,8	+0,13	21,75	21,94
24	0,021	+0,033	22	—	23,8	+0,13	23,75	23,94
25	+0,021	+0,033	23	—	24,8	+0,13	24,75	24,94
26	+0,021	+0,033	24	—	25,8	+0,13	25,75	25,94
28	+0,021	+0,033	26	—	27,8	+0,13	27,75	27,94
30	+0,021	+0,033	15	28	29,8	+0,13	29,75	29,93
32	+0,025	+0,039	15	30	31,7	+0,16	31,71	31,93
34	+0,025	+0,039	15	32	33,7	+0,16	33,71	33,93
35	+0,025	+0,039	20	33	34,7	+0,16	34,71	34,93
36	+0,025	+0,039	20	34	35,7	+0,16	35,71	35,93
37	+0,025	+0,039	20	35	36,7	+0,16	36,71	36,93
38	+0,025	+0,039	20	36	37,7	+0,16	37,71	37,93
32	+0,025	+0,039	15	30	31,7	+0,16	31,71	31,93

Диаметры отверстий			Сверление		Чистовое растачивание		Зенкерование	Предварительное развертывание
Номинал	Допуск		Первое сверло	Второе сверло	Номинал	Допуск по Н11		
	по Н7	по Н8						
34	+0,025	+0,039	15	32	33,7	+0,16	33,71	33,93
35	+0,025	+0,039	20	33	34,7	+0,16	34,71	34,93
36	+0,025	+0,039	20	34	35,7	+0,16	35,71	35,93
37	+0,025	+0,039	20	35	36,7	+0,16	36,71	36,93
38	+0,025	+0,039	20	36	37,7	+0,16	37,71	37,93
40	+0,025	+0,039	20	38	39,7	+0,16	39,71	39,93
42	+0,025	+0,039	25	40	41,7	+0,16	41,71	41,93
45	+0,025	+0,039	25	43	44,7	+0,16	44,71	44,93
47	+0,025	+0,039	25	45	46,7	+0,16	46,71	46,93
48	+0,025	+0,039	25	46	47,7	+0,16	47,71	47,93
50	+0,025	+0,039	25	48	49,7	+0,16	49,71	49,93

*Примечания:* 1. При сверлении отверстий в чугуне применять одно сверло для диаметров 30 и 32 (для отверстия диаметром 30 применять сверло диаметром 28, для отверстия диаметром 32 – сверло 30). 2. Выбор перехода растачивание или зенкерование определяется технологическим процессом. 3. Для обработки отверстий диаметром свыше 30 мм вместо разверток можно применять расточные оправки типа "микробор". 4. Диаметр чистовой развертки выбирают в соответствии с номинальным диаметром отверстия с допусками по Н7 или Н8.

Таблица 13

Припуски на обработку прошитых или полученных литьем отверстий по 7-му 8-му квалитетам

Диаметр отверстия			Черновое растачивание		Чистовое растачивание		Развертывание, тонкое растачивание пластинами или оправками (предварительное)
Номинал	Допуск		Первое	Второе	Номинал	Допуск по Н11	
	по Н7	по Н8					
30	0,021	+0,033	—	28	29,8	+0,13	29,93
32	+0,025	+0,039	—	30	31,7	+0,16	31,93
34	+0,025	+0,039	—	32	33,7	+0,16	33,93
35	+0,025	+0,039	—	33	34,7	+0,16	34,93

Продолжение таблицы 13

Диаметр отверстия			Черновое растачивание		Чистовое растачивание		Развертывание тонкое растачивание пластинами или оправками (предварительное)
Номинал	Допуск		Первое	Второе	Номинал	Допуск по Н11	
36	+0,025	+0,039	—	34	35,7	+0,16	35,93
37	+0,025	+0,039	—	35	36,7	+0,16	36,93
38	+0,025	+0,039	—	36	37,7	+0,16	37,93
40	+0,025	+0,039	—	38	39,7	+0,16	39,93
42	+0,025	+0,039	—	40	41,7	+0,16	41,93
45	+0,025	+0,039	—	43	44,7	+0,16	44,93
47	+0,025	+0,039	—	45	46,7	+0,16	46,93
48	+0,025	+0,039	—	46	47,7	+0,16	47,93
50	+0,025	+0,046	45	48	49,7	+0,16	49,93
52	+0,03	+0,046	47	50	51,5	+0,19	51,92
55	+0,03	+0,046	50	53	54,5	+0,19	54,92
58	+0,03	+0,046	53	56	57,5	+0,19	57,92
60	+0,03	+0,046	55	58	59,5	+0,19	59,92
62	+0,03	+0,046	57	60	61,5	+0,19	61,92
63	+0,03	+0,046	58	61	62,5	+0,19	62,92
65	+0,03	+0,046	60	63	64,5	+0,19	64,92
68	+0,03	+0,046	63	66	67,5	+0,19	67,9
70	+0,03	+0,046	65	68	69,5	+0,19	69,9
72	+0,03	+0,046	67	70	71,5	+0,19	71,9
75	+0,03	+0,046	70	73	74,5	+0,19	74,9
78	+0,03	+0,046	73	76	77,5	+0,19	77,9
80	+0,03	+0,046	75	78	79,5	+0,19	79,9
85	+0,035	+0,054	80	83	84,3	+0,22	84,85
90	+0,035	+0,054	85	88	89,3	+0,22	89,85
95	+0,035	+0,054	90	93	94,3	+0,22	94,85
100	+0,035	+0,054	95	98	99,3	+0,22	99,85
105	+0,035	+0,054	100	103	104,3	+0,22	104,8
110	+0,035	+0,054	105	108	109,3	+0,22	109,8
115	+0,035	+0,054	ПО	113	114,3	+0,22	114,8
120	+0,035	+0,054	115	118	119,3	+0,22	119,8

Диаметр отверстия			Черновое растачивание		Чистовое растачивание		Развертывание, тонкое растачивание пластинами или оправками (предварительное)
Номинал	Допуск		Первое	Второе	Номинал	Допуск по Н11	
	Н7	Н8					
125	+0,04	+0,063	120	123	124,3	+0,25	124,8
130	+0,04	+0,063	125	128	129,3	+0,25	129,8
135	+0,04	+0,063	130	133	134,3	+0,25	134,8
140	+0,04	+0,063	135	138	139,3	+0,25	139,8
145	+0,04	+0,063	140	143	144,3	+0,25	144,8
150	+0,04	+0,063	145	148	149,3	+0,25	149,8
155	+0,04	+0,063	150	153	154,3	+0,25	154,8
160	+0,04	+0,063	155	158	159,3	+0,25	159,8
165	+0,04	+0,063	160	163	164,3	+0,25	164,8
170	+0,04	+0,063	165	168	169,3	+0,25	169,8
175	+0,04	+0,063	170	173	174,3	+0,25	174,8
180	+0,04	+0,063	175	178	179,3	+0,25	179,8
190	+0,046	+0,072	185	188	189,3	+0,29	189,8
195	+0,046	+0,072	190	193	194,3	+0,29	194,8
200	+0,046	+0,072	194	197	199,3	+0,29	199,8

*Примечание.* Окончательное развертывание отверстий и тонкое растачивание отверстий выполняется по номинальным диаметрам отверстий с допусками по Н7 или Н8.

## 7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ ОПЫТНО-СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

### 7.1. Пример расчета припусков на обработку наружной цилиндрической поверхности

Рассчитать припуски на обработку вала диаметром 40h7 с шероховатостью поверхности  $R_z = 6,3$  мкм, длиной 350 мм.

В качестве заготовки выбираем прокат круглый, нормальной точности по 14 качеству. Составляем маршрут обработки поверхности, определяем количество переходов обработки и шероховатость поверхности, соответствующую данному переходу. Шероховатость поверхности, получаемая после последнего перехода,



должна совпадать с шероховатостью обрабатываемой поверхности, задаваемой чертежом.

При заполнении отдельных граф таблицы 14 необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

В *графе 1* заполняются наименования операций и переходов для каждой обрабатываемой поверхности, начиная с исходной заготовки до последней операции.

Таблица 14

Расчет припусков, допусков и промежуточных размеров по технологическим переходам

Маршрут обработки	Наименьшее значение припуска, мкм, $2z_{\min}$	Расчетный размер, мм	Допуск, мкм	Предельные размеры, мм		Предельные припуски, мкм	
				$d_{\max}$	$d_{\min}$	$2z_{\max}$	$2z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Наружная поверхность вала диаметром 40 h7 длиной 350мм							
Размер исходной заготовки	-	46,975	1100	48,1	47,0	—	—
Обтачивание: черновое чистовое	4500	42,475	250	42,730	42,48	5370	4520
	2000	40,475	100	40,60	40,50	2130	1980
Шлифование	500	39,975	25	40,0	39,975	600	525

В *графе 2* значения наименьшего припуска берут из справочников для каждого перехода (или операции).

В примере припуски на черновое, чистовое точение выбраны по табл. 2, припуски на шлифование — по табл. 3.

*Графа 3* заполняется снизу вверх. Сначала записывают в последнюю строку наименьший диаметр данной поверхности вала.

Размер на предыдущей операции (переходе) получают, прибавляя к наименьшему предельному размеру припуск на данную операцию (из *графы 2*):

$$d_{\min i-1} = d_{\min i} + 2z_{\min} \quad (1)$$

где  $d_{\min i-1}$  — наименьший диаметр вала после предыдущей опе-

рации, мм;

$d_{\min i}$  – наименьший диаметр вала, получаемый в результате данной операции, мм;

$2z_{\min}$  – наименьший припуск на диаметр для данной операции, мм.

Наименьший размер на чистовое точение:

$$39,975+0,5=40,475 \text{ мм};$$

наименьший размер на черновое точение:

$$40,475+2,0=42,475 \text{ мм};$$

наименьший размер заготовки:

$$42,475+4,5=46,975 \text{ мм}.$$

Окончательный размер исходной заготовки выбирают по сортаменту (наименьший размер по сортаменту должен быть не менее расчетного размера).

В *графе 4* проставляют окончательный допуск – он должен быть равным допуску на размер детали по чертежу. (В примере допуск на шлифование составляет 25 мкм по чертежу детали).

Допуски на операционные размеры не должны превышать экономической точности обработки на данной операции. Для заполнения этой графы необходимо установить квалитет по табл. 3 – 7, а по табл. 8 - соответствующие допуски. Допуск на заготовку (исходя из сортамента проката) составляет 1100 мкм, допуск на черновое точение, обеспечивающего точность по 12 квалитету – 250 мкм, допуск на чистовое точение с точностью по 10 квалитету составляет 100 мкм.

Затем заполняют *графу 6*. В *графе 6* указывается минимальный размер детали, который представляет собой расчетный размер, округленный до последней значащей цифры допуска в сторону увеличения.

Допуск на чистовое точение составляет 100 мкм, т.е. 0,1 мм, допуск имеет после запятой одну значащую цифру, соответственно минимальный размер на окончательном обтачивании составит 40, 50 мм.

Допуск на черновое точение составляет 250 мкм – 0,25 мм, т.е. после запятой две значащие цифры соответственно минимальный размер составит — 42,48 мм.

*Графа 5* содержит максимальные размеры заготовки на данной операции, которые определяются сложением минимального

размера на данной операции (из графы 6) с соответствующим этому размеру допуском (графа 4).

Максимальный размер после чистового точения:

$$40,50+0,100 = 40,60 \text{ мм};$$

максимальный размер после чернового точения:

$$42,48+0,250 = 42,73 \text{ мм};$$

максимальный размер заготовки:

$$47,0+1,1=48,1 \text{ мм.}$$

В *графу 7* заносят наибольший припуск, равный разности между наибольшими предельными размерами заготовки на предшествующем и последующем переходе (операции):

$$2z_{i \max} = d_{\max i-1} - d_{\max i}.$$

Наибольший припуск на шлифование:

$$2z_{i \max} = 40,60 - 40,0 = 0,60 \text{ мм};$$

наибольший припуск на чистовое точение:

$$2z_{i \max} = 42,73 - 40,60 = 2,130 \text{ мм};$$

наибольший припуск на черновое точение:

$$2z_{i \max} = 48,1 - 42,73 = 5,370 \text{ мм.}$$

В *графу 8* заносят наименьший припуск, который для вала вычисляется как разность между наименьшими предельными размерами заготовки на предыдущем и последующем переходе (операции):

$$2z_{i \min} = d_{\min i-1} - d_{\min i}.$$

Минимальный припуск на шлифование:

$$2z_{\min} = 40,50 - 39,975 = 0,525 \text{ мм};$$

минимальный припуск на чистовое обтачивание:

$$2z_{\min} = 42,48 - 40,50 = 1,980 \text{ мм};$$

минимальный припуск на черновое точение:

$$2z_{\min} = 47,0 - 42,48 = 4,520 \text{ мм.}$$

После выполнения всех расчетов необходимо проверить их правильность сопоставлением разности припусков и допусков по формуле:

$$2z_{o\max} - 2z_{o\min} = Td_{заг} - Td_{дет},$$

где  $2z_{o\max}$  - общий максимальный припуск (сумма всех строк в графе 7);

$2z_{o\min}$  - общий минимальный припуск (сумма всех строк в графе 8);

$Td_{заг}$  и  $Td_{дет}$  - допуски на размеры заготовки и детали соответственно.

Общий максимальный припуск по всем переходам составляет 8100мкм; общий минимальный припуск - 7025мкм. Разность составляет 8100мкм — 7025мкм = 1075мкм.

Разность допуска на размеры заготовки и детали составляет 1100 мкм — 25 мкм = 1075 мкм.

Таким образом, 1075мкм = 1075мкм, следовательно расчет произведен верно.

## 7.2. Пример расчета припусков на обработку отверстия

Рассчитать припуски на обработку отверстия диаметром 60Н7, длиной 100 мм. Шероховатость обрабатываемой поверхности  $R_z = 5$  мкм.

В качестве заготовки выбираем чугунное литье, III класса точности, 17 квалитета.

Устанавливаем маршрут обработки отверстия: черновое растачивание (14 квалитет), получистовое растачивание (12 валитет), чистовое растачивание (10 квалитет), тонкое растачивание 7 квалитет). Записываем маршрут обработки в *графу 1* таблицы 15.

*Графа 2.* Наименьшее значение припуска на тонкое растачивание (см. табл. 9) составляет  $0,2 + 0,1 = 0,3$  мм, припуск на чистовое растачивание составляет 1,6 мм (см. табл. 8), припуск на получистовое растачивание —  $58 - 55 = 3$  мм (см. табл. 15), припуск на черновое растачивание соответствует припуску на черновое точение — 4мм (табл. 4).

*Графа 3* заполняется снизу вверх. Сначала записывают в последнюю строку наибольший диаметр отверстия детали.

Размер на предыдущей операции (переходе) получают, вычитая от наибольшего предельного размера припуск на данную

операцию (из графы 2):

$$d_{\max i-1} = d_{\max i} + 2z_{\min} ,$$

Таблица 15

Расчет припусков, допусков и промежуточных размеров по технологическим переходам на обработку отверстия

Технологические операции и переходы обработки отдельных поверхностей детали	Наименьшее значение припуска, мкм, $2z_{\min}$	Расчетный размер, мм	Допуск $\delta$ , мкм	Предельные размеры, мм		Предельные припуски, мкм	
				наибольший	наименьший	$2z_{\max}$	$2z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Внутренняя поверхность отверстия диаметром 60Н7, длиной 100 мм							
Заготовка: отливка	—	51,13	3000	51,0	48,0	—	—
Растачивание черновое	4000	55,13	740	55,13	54,39	6390	4130
получистовое	3000	58,13	300	58,1	57,8	3410	2970
чистовое	1600	59,730	120	59,730	59,61	1810	1630
тонкое	300	60,030	30	60,030	60,0	390	300

где  $d_{\max i-1}$  – наибольший диаметр отверстия после предыдущей операции, мм;

$d_{\max i}$  – наибольший диаметр отверстия, получаемый в результате данной операции, мм;

$2z_{\min}$  – наименьший припуск на отверстие для данной операции, мм.

Расчетный размер после чистового растачивания:

$$60,030 - 0,3 = 59,73 \text{ мм};$$

расчетный размер после получистового растачивания:

$$59,73 - 1,6 = 58,13 \text{ мм};$$

расчетный размер после чернового растачивания:

$$58,13-3,0=55,13 \text{ мм};$$

расчетный размер отверстия заготовки:

$$55,13-4,0 = 51,13 \text{ мм}.$$

*Графа 4.* Заполняем значения допусков согласно соответствующим квалитетам (табл.А1).

В *графе 5* указывается максимальный предельный размер отверстия, который представляет собой расчетный размер, округленный в меньшую сторону до значащей цифры допуска.

*Графа 6.* Наименьший предельный размер отверстия определяется как разность наибольшего размера (*графа 5*) и значения допуска на данном переходе (*графа 4*).

Минимальный размер на переходе чистовое растачивание:

$$59,73-0,12=59,61 \text{ мм};$$

на переходе получистовое растачивание:

$$58,1-0,300=57,8 \text{ мм};$$

на переходе черновое растачивание:

$$55,13-0,740 = 54,39 \text{ мм};$$

минимальный размер отверстия заготовки:

$$51,0-3,0 = 48,0 \text{ мм}.$$

*Графа 7.* Предельный максимальный припуск для отверстия соответствует разности между наименьшими размерами заготовки на данном и предшествующем переходе (операции):

$$2z_{\max i} = d_{\min i} - d_{\min i-1}.$$

Максимальный предельный припуск на переходе тонкое растачивание:

$$60,0-59,61=0,39 \text{ мм};$$

на переходе чистовое растачивание:

$$59,61-57,8 = 1,81 \text{ мм};$$

на переходе получистовое растачивание:

$$57,8-54,39 = 3,41 \text{ мм};$$

на переходе черновое растачивание:

$$54,39-48,0=6,39 \text{ мм}.$$

*Графа 8.* Предельный минимальный припуск – разность между наибольшими предельными размерами на данной и предыдущей операциях:

$$2z_{\min i} = d_{\max i} - d_{\max i-1}.$$

После выполнения всех расчетов необходимо проверить их правильность сопоставлением разности припусков и допусков по формуле:

$$2z_{o \max} - 2z_{o \min} = Td_{заг} - Td_{дет},$$

где  $2z_{o \max}$  - общий максимальный припуск (сумма всех строк в графе 7);

$2z_{o \min}$  - общий минимальный припуск (сумма всех строк в графе 8);

$Td_{заг}$  и  $Td_{дет}$  - допуски на размеры заготовки и детали соответственно.

Общий максимальный припуск по всем переходам составляет 12000 мкм; общий минимальный припуск – 9030 мкм. Разность составляет 12000 мкм — 9030 мкм = 2970 мкм.

Разность допуска на размеры заготовки и детали составляет 3000 мкм — 30 мкм = 2970 мкм.

Таким образом, 2970 мкм = 2970 мкм, следовательно расчет произведен верно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985.-Т.1, 655с. Т.2, 495 с.

2. Гурин Ф.В., Клепиков В.Д., Рейн В.В. Технология автотракторостроения. – М.: Машиностроение, 1981. - 295 с.

3. Зайцев Б.Г., Рыцев С.Б. Справочник молодого токаря. – М.: Высш. шк., 1988.

4. Белецкий Д.Г. и др. Справочник токаря - универсала. – М.: Машиностроение, 1987.

5. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г.Бойм и др. Под общ. ред. А.А.Панова. – М.: Машиностроение, 1988.

6. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./ В.Д.Мягков, В.А.Брагинский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. – 1983.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А



Таблица А1

Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей															
Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска раз-мера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Обтачива- ние: черновое	50-6,3	120-60	14	-	-	-	-	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
			13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
получисто- вое или однократное чистовое	25-1,6	50-20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
			11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
чистовое	6,3-0,4	30-20	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97

Продолжение табл. А1

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Обтачивание: тонкое	1,6-0,2		9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
Шлифование: предварительное чистовое	6,3-0,4	20	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
	3,2-0,2	15-5	7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
Шлифование: тонкое	1,6-0,1	5	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
Притирка, суперфиниширование	0,8-0,1	5	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
			4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
Обкатывание, алмазное выглаживание	0,8-0,05	-	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	

## Точность и качество поверхности при обработке отверстий

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
Сверление и рассверливание	25-0,8	70-15	13	-	-	270	330	390	460							
			12	-	-	180	210	250	300							
			11	75	90	110	130	160	190	-	-	-	-	-	-	-
			10	48	58	70	84	100	120							
			9	30	36	43	52	62	74							
Зенкерование: черновое	25-6,3	50-20	13	-	-	270	330	390	460	540	-	-	-	-	-	
			12	-	-	180	210	250	300	350						
однократное литого или прошито отверстия; чистовое после чернового или сверления	25-0,4	50-20	13	-	-	270	330	390	460	540						
			12			180	210	250	300	350						
			11			110	130	160	190	220	-	-	-	-	-	
			10			70	84	100	120	140						
			9			43	52	62	74	87						
8			27	33	39	46	57									

Продолжение табл.А2

19

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Развертывание: нормальное	12,5- 0,8	25- 15	11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	
			10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	
точное	6,3- 0,4	15- 5	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	-
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	57
тонкое	3,2- 0,1	10- 5	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	-

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Протягивание:  черновое	12,5-0,8	25-10	11	-	-	-	-	160	190	220	250	-	-	-	-
			10	-	-	-	100	120	140	160	-	-	-	-	
литого или прошитого отверстия	6,3-0,2	10_5	9	-	-	43	52	62	74	87	100	-	-	-	-
			8	-	-	27	33	39	46	57	63	-	-	-	-
			7	-	-	18	21	25	30	35	40	-	-	-	-
			6	-	-	11	13	16	19	22	25	-	-	-	-

Продолжение табл. А2

59

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Растачивание: черновое	25- 1,6	50-20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
			11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
чистовое	6,3- 0,4	25_10	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
тонкое	3,2- 1,6	10_5	7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27

Обработка	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности.											
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Шлифование: предварительное	6,3-0,4	25_10	9	-	-	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	-	-	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
чистовое	3,2-0,2	20_5	7	-	-	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	-	-	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
тонкое	1,6-0,1	10_5	5	-	-	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
Притирка, хонингование	1,6-0,1	5_3	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
			4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	6,3-0,1	-	10	-	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
			9	-	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	-	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
			7	-	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
			5	-	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27



Таблица А3

## Значения допусков Т (мкм) для размеров до 500 мм

Размер, мм	Квалитет												
	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	48	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	1600	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	4000
>180>250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
>250>315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
>315>400	26	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

Таблица А4

**Сталь горячекатаная круглая (ГОСТ 2590-88)**

Диаметры, мм	Предельные отклонения (мм) по диаметру при точности прокатки					
	высокой		повышенной		обычной	
	+	-	+	-	+	-
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7-9	0,1	0,2	0,2	0,5	0,3	0,5
10 - 19	0,1	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5
20-25	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5
26-48	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,7
50; 52-58	0,2	0,8	0,2	1	0,4	1
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78	0,3	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 82; 85; 90; 95	0,3	1,1	0,3	1,3	0,5	1,3
100; 105; 110; 115	-	-	0,4	1,7	0,6	1,7
120; 125; 130; 135; 140; 150	-	-	0,6	2	0,8	2
160; 170; 180; 190; 200	-	-	-	-	0,9	2,5
210; 220; 230; 240; 250	-	-	-	-	1,2	3

**Точность и качество поверхности штампованных поковок  
после механической обработки**

Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
<b>Валы ступенчатые</b>			
Обтачивание наружных поверхностей			
Однократное	11_12	32	30
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
Тонкое	7_9	5	5
Подрезание торцовых поверхностей			
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	32	30
Фрезерование			
Однократное	14	100	100
<b>Диски</b>			
Обтачивание наружных поверхностей			
Однократное	10_12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10_11	25	25
Подрезание торцовых поверхностей			
Однократное	10_12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10_11	25	25
<b>Рычаги (плоскости, параллельные оси детали, и плоскости разъёма головок)</b>			
Фрезерование			
Черновое	12	32	50
Чистовое	11	10	15
Обтачивание стержня			
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
Шлифование валов, дисков, рычагов			
Однократное	7_9	5	10
Черновое	8_9	10	20
Чистовое	6_7	5	15
Тонкое	5_6	2,5	5

Таблица А6

**Качество поверхностей отверстий после обработки**

Способ обработки		Диаметр отверстий d, мм	Квалитет	Rz	h
				МКМ	
Сверление спиральными свёрлами		От 3 до 6	12	20	40
		Св. 6 >10		32	50
		>10>18		40	60
		>18>50		50	70
		>50>80		63	80
Глубокое сверление специальными свёрлами		От 3 до 10	12	16	25
		Св.10>18		20	30
		>18>30		32	40
		30>50		50	50
Зенкерование	однократное	До 80	10	32	40
	черновое	От 18 до 30	11	40	40
		Св. 30 до 80		50	50
	чистовое	До 30	10	32	30
Св. 30 до 80		40		40	
Растачивание	черновое	От 50 до 260	12	40	50
	чистовое		10	20	20
Развёртывание	нормальное	От 6 до 30	10	10	20
	точное		8	5	10
	тонкое		7	3,2	5
Отделочные методы	шлифование	До 80	7_9	5	10
	протягивание	От 10 до 80	8	4	6
	калибрование шариком	>6 >80	7	0,63	-
	хонингование	До 80	6_7	0,16	-

Таблица А7

**Коэффициент уточнения  $K_u$  для отливок, поковок, штампованных заготовок и сортового проката**

Технологический переход	$K_u$
После обтачивания:	
однократного	0,05
чернового	0,06
получистового	0,05
чистового	0,04
После шлифования:	
чернового	0,03
чистового	0,02

**Качество поверхности отливок ( $R_z + h$ , мкм), достигаемое различными способами формовки**

Отливка		Наибольший размер отливки, мм				
Материал	Класс точности <sup>1</sup>	До 500	Св. 500 до 1250	Св. 1250 до 3150	Св. 3150 до 6300	Св. 6300 до 10 000
Чугун	I	400	600	800	-	-
	II	500	700	900	-	-
	III	600	800	1000	1500	2000
Сталь	I	300	500	700	-	-
	II	400	600	800	-	-
	III	500	700	900	1300	1700
Цветные металлы и сплавы	I	200	400	-	-	-
	II	300	500	-	-	-
	III	400	600	800	1100	-

<sup>1</sup> Классы точности отливки достигаются: I - литьем в формы, изготовленные машинной формовкой по металлическим моделям; II - машинной формовкой по деревянным моделям; III - ручной формовкой по деревянным моделям.

**Качество поверхности отливок, достигаемое специальными способами литья**

Литье		Квалитет	$Rz$ , мкм	$h$ , мкм, для заготовки		
				из чугуна	из стали	из цветных металлов
В кокиль		14 – 15	200	300	200	100
Центробежное		14 – 15	200	300	200	100
В оболочковые формы для элементов, получаемых	в одной полуформе	11 – 12	40	260	160	100
	в обеих полуформах	14	40	260	160	100
	под давлением	11 – 12	50	-	-	100
По выплавляемым моделям		11 – 12	32	170	100	63

## Отклонения расположения поверхностей отливок

Отклонения	Литье			
	в песчаные формы	в кокиль	под давлением	
Межосевых расстояний отверстий $(\pm)\Delta_{м.о.р.}$ , мм	1,2 – 2,0	0,8 – 1,5	0,3 – 0,5	
Расположения отверстия относительно технологических баз $(\pm)\Delta_{р.т.б.}$ , мм	1,2 – 2,5	0,5 – 1,2	0,10 – 0,35	
От параллельности плоскости $\Delta_{он.}$ , мкм на 1 мм	$\frac{1}{2}$ допуска на размер	2,2 – 3,4	1,2 – 2,0	
Перекося отверстия $\Delta_{п.}$ , мкм на 1 мм для диаметра отверстия $d$ , мм: До 10	-	2,5 -10	2,0 – 4,0	
	Св. 10 до 30		10 -20	1,5 – 3,0
	» 30 » 50		5 – 15	1,0 – 2,0
	» 50 »		3 – 10	0,7 – 1,5
	Коробление $\Delta_{к.}$ , мкм на 1 мм: корпусных деталей		0,3 – 1,5	-
плит	2,0 – 3,0			



Таблица А11

**Качество поверхности (мкм) сортового проката**

Диаметр проката, мм	Точность прокатки					
	высокая		повышенная		обычная	
	$R_z$	$h$	$R_z$	$h$	$R_z$	$h$
До 30	63	50	80	100	125	150
Св. 30 до 80	100	75	125	150	160	250
» 80 » 180	125	100	160	200	200	300
» 180 » 250	200	200	250	300	320	400

Таблица А12

**Качество поверхности (мкм) поперечно–винтового проката**

Диаметр проката, мм	$R_z$ при точности прокатки		$h$
	повышенной	нормальной	
До 10	63	100	100
Св. 10 » 18	100	200	180
» 18 » 30	160	320	300
» 30 » 50	320	500	500
» 50 » 80	500	800	800
» 80 » 120	800	1250	1200
120 » 180	1250	1600	2000

Примечание. Качество поверхности поперечно – винтового проката указано после термической обработки (нормализации или улучшения).

Таблица А13

**Точность и качество поверхности после отрезки сортового проката**

Способ отрезки	Квалитет	$Rz + h$ , мкм
На ножницах <sup>1</sup>	17	300
Приводными ножовками, дисковыми фрезами на фрезерных станках	14	200
Отрезными резцами на токарных станках	13	200
Отрубка на прессах	17	$Rz = 150 \div 300$ $h = 1000 \div 1600$

<sup>1</sup>При отрезке на ножницах и отрубке на прессах получается вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигающая  $0,2D$ , и скос по торцу до  $3D$ , которые необходимо учитывать при последующей обработке заготовок как по торцу, так и по диаметру.

**Кривизна профиля сортового проката, мкм на 1 мм**

Характеристика проката	Длина проката, мм					
	До 120	120 - 180	180 - 315	315 - 400	400 - 500	
Без правки при точности прокатки:	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
	обычной	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	повышенной	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
высокой						
	Диаметр проката					
	До 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	120 - 180	
Без правки после за-калки:						
	в печах	2,0	1,3	0,9	0,6	0,5
ТВЧ	1,0	0,6	0,45	0,3	0,15	
После правки на прессах	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	

Примечание. У поперечно – винтового проката при повышенной точности прокатки  $\Delta_k = 2$  мкм на 1 мм длины, а при обычной точности  $\Delta_k = 4$  мкм на 1 мм.

## Точность и качество поверхности заготовок из проката после механической обработки

Способ обработки	Переход	Квалитет	$R_z$ , мкм	$h$
Обработка наружных поверхностей				
Обтачивание резцами проката повышенной и обычной точности прокатки	Обдирка	14	125	120
	Черновое	12	63	60
	Чистовое и однократное	10 - 11	32 - 20	30
	Тонкое	7 - 9	6,3 – 3,2	-
Шлифование в центрах проката обычной точности прокатки	Черновое	8 - 9	10	20
	Чистовое и однократное	7 - 8	6,3	12
Бесцентровое шлифование проката повышенной и высокой точности прокатки	Тонкое	5 - 6	3,2 – 0,8	6 - 2
Обработка торцовых поверхностей				
Подрезание резцом на токарных станках	Черновое	12	50	50
	Чистовое	11	32	30
Шлифование на кругло - и торцешлифовальных станках	Однократное	6	5 - 10	-

Таблица А16

**Точность и качество поверхности после механической обработки отливок точением, фрезерованием, строганием и шлифованием**

Обработка	Квалитет	$R_z$ , мкм	$h$ , мкм	Обработка	Квалитет	$R_z$ , мкм	$h$ , мкм
<b>Точение, фрезерование, строгание</b>				Литье в кокиль и центробежное			
Литье в песчаные формы				Однократная	11	25	25
Отливка I класса точности				Черновая	12	50	50
Однократная	11 - 12	32	32	Чистовая	10	20	20
Черновая	12	50	50	Тонкая	7 - 9	5	5
Отливки II класса точность				Литье в оболочковые формы			
Черновая	14	100	100	Однократная	10 - 11	25	25
Получистовая	12	50	50	Черновая	11	20	20
Отливки III класса точности				Чистовая	10	10	10
Обдирочная	16 - 17	320	320	Тонкая	7 - 9	5	5
Черновая	14 - 15	250	240	Литье по выплавляемым моделям			
Получистовая	11 - 12	100	100	Однократная	10	15	20
Отливки I, II, III классов точности				Тонкая	7 - 9	2,5	5
Чистовая	10 - 11	25	25	<b>Шлифование отливок, получаемых различными способами</b>			
Тонкая	7 - 9	5	5	Однократная	7	5	10
				Черновая	8 - 9	10	20
				Чистовая	6 - 8	5	15
				Тонкая	5 - 6	0,63	-

Таблица А17

**Качество поверхности поковок ( $R_z + h$ , мкм), изготовляемых ковкой**

Наибольший размер поковки, мм	Пресс		Молот	Прикладные штампы
	Точность			
	повышенная	нормальная	нормальная	нормальная
От 50 до 180	800	1000	1000	750
Св. 180 » 500	1000	1500	1500	1250
» 500 » 1250	1500	2000	2000	1500
» 1250 » 3150	2000	2500	2500	-
» 3150 » 6300	2500	3000	3000	-
» 6300 » 10000	-	3500	3500	-

Таблица А18

**Качество поверхности поковок, изготовляемых штамповкой**

Масса поковки, кг	$R_z$	$h$
	мкм	
До 0,25	80	150
Св. 0,25 » 4	160	200
» 4 » 25	200	250
» 25 » 40	250	300
» 40 » 100	320	250
» 100 » 200	400	400

Примечание. Точность поковок, изготовляемых штамповкой, регламентируется ГОСТ 7505 – 85. Значения  $R_z$  в таблице даны после пескоструйной обработки поверхностей поковки или травления; при дробеструйной или дробеметной обработке  $R_z$  принимать равным 400 мкм независимо от массы поковки.

Таблица А19

**Кривизна  $\Delta_k$  (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 закалки и правки	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02

Таблица А20

**Кривизна  $\Delta_k$  (мкм на 1 мм) поковок типа валов**

Диаметр поковки $D$ , мм	После штамповки	После правки на прессах	После термической обработки	
			В печах	ТВЧ
До 25	4	0,20	2,5	1,25
Св. 25 » 50	3	0,15	1,5	0,75
» 50 » 80	2	0,12	1,5	0,75
» 80 » 120	1,8	0,10	1,0	0,50
» 120 » 180	1,6	0,08	1,0	0,50
» 180 » 260	1,4	0,06	-	-
» 260 » 360	1,2	-	-	-
» 360 » 500	1,0	-	-	-

**Отклонение от concentричности и коробление поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах, различной точности**

Толщина (высота) или ширина поковок, мм	Отклонение от concentричности отверстий $\Delta_{экс.}$ , мм		Коробление $\Delta_{кор.}$ , мм	
	Повышенная точность	Нормальная точность	Повышенная точность	Нормальная точность
До 50	0,50	0,8	0,5	0,5
Св. 50 » 120	0,63	1,4	0,5	0,5
» 120 » 180	0,80	2,0	0,5	0,7
» 180 » 260	1,00	2,8	0,6	0,9
» 260 » 360	1,50	3,2	0,7	1,0
» 360 » 500	2,50	3,6	0,8	1,1



Таблица А22

**Отклонение от соосности  $\Delta_{см}$  (мм) элементов, штампуемых в разных половинах штампа, для поковок типа валов различной точности**

Масса поковки, кг	Штамповка на молотах		Штамповка на прессах	
	Повышенная точность	Нормальная точность	Повышенная точность	Нормальная точность
До 0,25	0,30	0,4	0,20	0,3
Св. 0,25 » 0,63	0,35	0,5	0,25	0,4
» 0,63 » 1,60	0,40	0,6	0,30	0,5
» 1,60 » 2,50	0,45	0,8	0,35	0,6
» 2,50 » 4,00	0,50	1,0	0,40	0,7
» 4,00 » 6,30	0,63	1,1	0,45	0,8
» 6,30 » 10	0,70	1,2	0,50	0,9
» 10 » 16	0,80	1,3	0,60	1,0
» 16 » 25	0,90	1,4	0,70	1,1
» 25 » 40	1,00	1,6	0,80	1,2
» 40 » 63	1,20	1,8	-	-
» 63 » 100	1,40	2,2	-	-
» 100 » 125	1,60	2,4	-	-
» 125 » 160	1,80	2,7	-	-
» 160 » 200	2,20	3,2	-	-

Таблица А23

**Отклонение от перпендикулярности  $\Delta_H$  (мкм на 1 мм радиуса) торца фланца к оси поковки**

Масса поковки, кг		При штамповке	
		на прессе	на ГКМ
До 0,25		0,2	0,3
Св. 0,25	» 1,6	0,3	0,5
» 1,6	» 4	0,4	0,7
» 4	» 10	0,5	0,9
» 10	» 25	0,6	1,1
» 25	» 40	0,7	1,2

Таблица А24

**Точность и качество поверхности поковок после механической обработки, получаемых ковкой на прессах, молотах и в подкладных штампах**

Способ обработки		Квалитет	$R_z$ , мкм	$h$ , мкм
Точение резцами, фрезерование:	обдирочное	17	1250	350
	черновое	15 – 16	250	240
	получистовое	12 – 14	125	120
	чистовое	10 – 11	40	40
	тонкое	6 – 7	5	5
Шлифование	обдирочное	14 – 15	20	20
	черновое	10	15	15
	чистовое	6 – 7	5	5
	тонкое	5 – 6	2,5	5

Учебное издание

Марина Викторовна НАЛИМОВА

## **ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ**

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 13.05.2014. Рег. № 15-14. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Плоская печать. Усл.печ.л. 5,25. Тираж 100 экз. Заказ 258.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»