

Лекция 2. Методы получения заготовок. Понятие о припусках на обработку. Анализ выбора заготовок. Понятие качества и точности обработки деталей. Погрешности механической обработки изделий. Случайные и систематические погрешности. Факторы, влияющие на точность и погрешность обработки.

Виды заготовок. В современном машиностроении для получения заготовок деталей используется большое количество разнообразных технологических процессов и их сочетаний.

Основными из этих процессов являются:

различные способы литья (в песочные формы, в опоки, кокильное, центробежное, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, под давлением, с использованием вакуума);

различные способы пластической деформации металлов (свободная ковка, ковка в подкладных штампах, штамповка на молотах и прессах, периодический и поперечный прокат, высадка, выдавливание);

резка;

сварка;

пайка;

комбинированные способы штамповки-сварки, литья-сварки и т.д.;

порошковая металлургия и др.

Выбор вида заготовок. Выбор полуфабриката и разработка технологического процесса его превращения в готовую деталь дают наиболее высокие технико-экономические показатели, если эти вопросы разрабатываются комплексно и одновременно с разработкой конструкции изделия и его деталей.

Главными факторами, влияющими на выбор метода получения заготовки, является конструкция детали, ее материал, размеры и масса заготовки, количество выпуска деталей в единицу времени, стоимость полуфабриката, расход материала и себестоимость превращения заготовки в готовую деталь и в итоге себестоимость заготовки.

В практике машиностроения нашли применение многочисленные методы получения заготовки, многие из которых с рекомендациями по их выбору приведены в работе [**Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.**]. На выбор метода получения заготовки большое влияние оказывают конструкция детали, ее размеры и материал.

Корпусные детали. Корпусные детали отличаются большим разнообразием конструктивных форм, размеров, массы и материалов, используемых для их изготовления. В настоящее время наиболее распространенными технологическими процессами изготовления корпусных деталей являются литье, в меньшей степени - резка-гибка, сварка, штамповка-сварка и литье-сварка.

Основные *преимущества* получения заготовок литьем - относительно небольшие расходы на изготовление опок, приходящиеся на одну отливку; *недостатки*: невысокая точность отливок, являющаяся следствием использования деревянных моделей, увеличения размеров и искажения форм, получаемых при "расталкивании" моделей перед их изъятием из форм.

Машинная формовка по сравнению с ручной имеет преимущества: 1) более высокая точность форм при удалении из них моделей; 2) возможность уменьшения формовочных уклонов; 3) получение форм с большой прочностью и однородностью уплотнения вследствие механизации уплотнения; 4) меньшая трудоемкость формовки с использованием менее квалифицированного труда.

В результате применения машинной формовки отливки получаются более точными по размерам и геометрическим формам, с меньшими колебаниями по массе.

Достаточно широкое применение находит получение заготовок корпусных деталей с помощью кокильного литья, при котором используется сочетание металлической формы с песчаным стержнем. Экономическая эффективность этого вида заготовок в значительной степени зависит от стоимости изготовления постоянных металлических форм.

Заготовки, полученные кокильным литьем, характеризуются точностью и правильностью геометрических форм (меньшими припусками на обработку и меньшими их колебаниями). Результатом являются экономия металла и сокращение трудоемкости механической обработки отливок.

Для изготовления литых заготовок мелких корпусных и ряда других деталей используется литье под давлением до 10 МПа и более.

Это позволяет сократить трудоемкость механической обработки отливок, получаемых литьем под давлением, на 80...85 % по сравнению с обычными литыми заготовками.

Для изготовления заготовок ряда корпусных и других деталей средних размеров используют штамповку, сварку, резку, гибку. Заготовки детали предварительно делят на несколько более простых частей. Отдельные части изготавливаются из листового, ленточного, сортового или профильного материала путем резки, гибки, штамповки, затем соединяют сваркой, образуя заготовки деталей.

Основным преимуществом деталей, изготовленных из таких заготовок, является наиболее полное использование свойств материалов, вследствие чего достигается уменьшение массы деталей и отходов, и незначительный цикл изготовления деталей по сравнению с литьем. Недостатком данного способа является необходимость отжига заготовок для снижения остаточных напряжений, возникающих при сварке с целью уменьшения деформации деталей.

Заготовки для валов. Использование в качестве заготовки круглого проката экономично только для изготовления гладких и ступенчатых валов с небольшой разницей в диаметрах шеек, так как в противном случае получают значительные отходы металла в стружку и затраты на обработку резанием. Заготовки для многоступенчатых и коленчатых валов, изготавливаемых единицами, получают при помощи свободнойковки, ковочными молотами и прессами.

Большее приближение заготовок к требованиям, предъявляемым к готовым деталям, достигается путем их штамповки в открытых и закрытых штампах. Штампы делаются одноручьевыми и многоручьевыми.

Относительно высокая стоимость изготовления и содержания штампов, особенно многоручьевых, делает экономичным использование штамповки на штамповочных молотах при крупносерийном и массовом производстве валов и других подобных деталей.

Для изготовления в значительных количествах ряда валов небольших габаритных размеров применяют экономичный способ получения заготовок на горизонтально-ковочных машинах. В качестве исходного полуфабриката для получения заготовок обычно используются круглые прутки, полученные прокаткой.

Значительного внимания и распространения заслуживает использование поперечно-винтовой прокатки для получения заготовок многоступенчатых валиков, полуосей автомобилей и других деталей.

Для получения более качественных литых заготовок пустотелых валов используется центробежный способ литья (гильзы), при котором заготовка получает требуемую форму путем использования центробежной силы расплавленного металла, создаваемой вращением изложницы вокруг ее оси. При этом внутренняя поверхность самой отливки всегда получается цилиндрической или в виде параболоида вращения (при вертикальной оси вращения изложницы).

Заготовки зубчатых колес. При изготовлении зубчатых колес небольшого диаметра (до 60...80 мм) с небольшой разницей диаметров зубчатого венца и ступицы считается экономичным использование в качестве заготовок калиброванных прутков материала.

Изготовление зубчатых колес диаметром больше 80 мм из прутка становится не экономичным из-за увеличения отходов металла и себестоимости изготовления. Для получения штучных заготовок с диаметром свыше 80 мм в зависимости от размеров, материала, конструктивных форм и потребного количества могут использоваться свободная ковка, молотах и прессах, штамповочных молотах и кривошипных прессах, на горизонтально-ковочных машинах.

С увеличением количества зубчатых колес, подлежащих изготовлению, становится экономичным использование штамповки в открытых штампах, осуществляемой на штамповочных молотах и прессах или на более производительных кривошипных прессах.

Штампованные заготовки, получаемые на штамповочных молотах, отличаются меньшими припусками на обработку и колебанием их величин по сравнению с получаемыми свободной ковкой и в подкладных штампах.

С увеличением размеров зубчатых колес, изготавливаемых единицами или в небольших количествах, можно использовать свободную ковку.

Заготовки деталей типа рычагов, шатунов, вилок, профильных стержней и т.п. При получении литых чугунных заготовок для перечисленных деталей в зависимости от их количества и размеров используется песчаная формовка, в опоках, ручная и машинная.

Заготовки ряда деталей, особенно сложных конструктивных форм и небольших габаритных размеров, экономично получать при помощи литья по выплавляемым моделям. Заготовки мелких рычагов, собачек, балочек, лопаток роторов газовых турбин и ряда других деталей отливаются этим способом даже при изготовлении небольших количеств заготовок.

Стальные заготовки рассматриваемых типов деталей получают свободной ковкой при изготовлении единичных заготовок или нескольких их штук. С увеличением количества заготовок, подлежащих изготовлению по неизменяемому чертежу, становится экономичным использовать подкладные штампы для формообразования заготовки в целом, или отдельных, более сложных ее частей (например, концов рычага).

При больших количествах заготовок, особенно в массовом производстве, экономично использовать штамповку в открытых и тем более в закрытых штампах.

Для получения заготовок, максимально приближающихся к требованиям готовых деталей, используются калибровка и чеканка штампованных заготовок. Практически при многократной чеканке достигается точность размеров по высоте заготовки до ± 25 мкм.

Заготовки мелких и крепежных деталей. Мелкие и крепежные детали составляют большую номенклатуру самых разнообразных деталей. Примерами могут служить различного рода кулачки, угольники, тройники, штуцеры, резьбовые втулки, болты, гайки, винты, шпильки, шурупы, шпонки. Мелкие детали изготавливаются из различных металлов, сплавов, пластмасс и других материалов.

Группирование мелких деталей по служебному назначению, размерам, подобно конструктивных форм и техническим требованиям к этим деталям создает предпосылки для их группового изготовления. В таких случаях становится экономичным использование в качестве заготовок профильного материала. При отсутствии специального профильного проката материалы специального профиля экономично получать при помощи сравнительно простых приспособлений. Такие приспособления закрепляются на протяжных или

волоочильных станах. Нагретый пруток материала стандартного профиля путем протягивания между роликами приспособления превращается в пруток специального профиля.

Одним из наиболее экономичных технологических процессов получения заготовок крепежных и других видов мелких деталей, выпускаемых в больших количествах, является их холодная высадка на специальных холодно-выставочных автоматах.

Имея отработанный рабочий чертеж, технические требования, которым должна отвечать готовая деталь, и зная количество деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени по неизменяемому чертежу, приступают к выбору экономичного вида полуфабриката (прокат, стальные слитки, порошковые материалы и др.) и метода получения заготовки детали.

В одних случаях можно изготавливать заготовку, максимально приближающуюся по качественным показателям (размерам, форме, шероховатости поверхности, механическим свойствам, химическому составу, качеству поверхностного слоя материала) к требованиям готовой детали, что сокращает потери, связанные с ее превращением в готовую деталь. Однако стоимость такого полуфабриката возрастает с увеличением степени его приближения к требованиям готовой детали и повышением уровня самих этих требований.

Другие полуфабрикаты или заготовки, отличающиеся меньшей степенью приближения к требованиям готовой детали, стоят меньше, но требуют больших последующих расходов по их превращению в готовую деталь (например, путем обработки резанием).

Следовательно, из нескольких возможных вариантов превращения полуфабриката в готовую деталь необходимо использовать наиболее экономичный.

Вопрос о выборе полуфабриката и варианте превращения его в готовую деталь должен решаться на основе сравнения себестоимости детали при каждом из возможных вариантов. При одних и тех же требованиях к готовой детали себестоимость механической обработки обычно выше себестоимости получения заготовок. Чем дальше отстоят размеры и другие показатели качества заготовок от требований к готовой детали, тем в большей степени возрастает себестоимость обработки заготовок резанием и потери материала; по мере приближения заготовок к требованиям готовой детали себестоимость их последующей обработки довольно быстро снижается.

Современный прогресс в развитии и совершенствовании технологических процессов и средств производства порождает непрерывное сокращение (при прочих равных условиях) себестоимости и повышение качества полуфабрикатов и заготовок.

Изложенное направление является одним из ведущих в развитии современной технологии машиностроения. Учитывая это, надо при выборе полуфабриката стремиться к получению полуфабриката, максимально приближающегося по качественным показателям к соответствующим показателям требований, предъявляемых к готовой детали. В связи с этим разрабатывают несколько вариантов процессов получения заготовки и выбирают тот, при котором получается наименьшая себестоимость.

Современное машиностроение выпускает широкую номенклатуру сортового и профильного материала, из которой для ряда деталей подбирают необходимые полуфабрикаты.

Если для изготовления детали нельзя подобрать полуфабрикат, позволяющий превратить его сразу в готовую деталь, приходится выбирать другой вид полуфабриката, позволяющего превратить его сначала, с наименьшими потерями и расходами, в заготовку, приближающуюся по требованиям к готовой детали, а затем в готовую деталь. В таких случаях в качестве полуфабриката используются металл в слитках, сортовой материал в виде прутка, листа, ленты или проволоки для изготовления кованных, штампованных, сварных, редуцированных, высаженных, штампо-сварных, литейно-сварных и других видов заготовок.

Припуски на обработку

Припуском на обработку называют слой металла, снимаемый с заготовки в процессе обработки для получения готовой детали.

Слой материала, удаляемый с поверхности, образующийся в результате выполнения каждого перехода, называется межпереходным. *Межпереходный припуск* определяется как разность размеров, полученных на детали на предшествующем и данном переходах.

Слой материала, удаляемый с поверхности готовой детали в результате выполнения всех переходов технологического процесса, называется *общим припуском на обработку*. Общий припуск на обработку определяется разностью размеров заготовки и готовой детали, измеренных от одной базы.

Различают односторонние припуски на обработку (рис. 1, а), понимая под ними слои материала, удаляемые с какой-либо одной стороны детали, двусторонние, удаляемые с двух сторон (рис. 1, б) или с образующих (рис. 1 в) детали

Двусторонние припуски на обработку в зависимости от величины их слагаемых, расположенных на каждой из сторон или по образующим детали, делятся на симметричные и ассиметричные. У симметричного припуска на обработку величины его слагаемых с каждой из сторон или под образующим детали равны между собой (рис. 1в), у ассиметричного припуска эти величины не равны (рис. 1б).

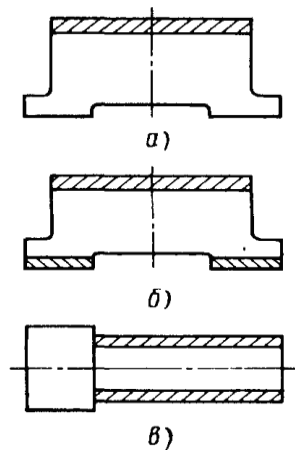


Рис. 1 Схемы расположения припусков на обработку:
a – одностороннее; *б* – двустороннее;
в – симметричное

Необходимо различать:

- расчетный (или номинальный) размер припуска, устанавливаемый расчетом;
- действительный размер припуска, т.е. величину слоя материала, фактически удаляемого при обработке деталей;

- измеренный размер припуска, полученный путем измерения и вычисления.

Припуски на обработку возникли из-за необходимости компенсации:

1) погрешности установки заготовки или детали на станке, в приспособлении или на рабочем месте. Чем больше погрешность установки (перекоса), тем больший припуск необходимо иметь для ее компенсации. Из рис. 2 видно, что при недостаточной величине припуска поверхность детали может оказаться неполностью обработанной. В результате, на вновь полученной поверхности останется часть поверхности *a*, образованной на предыдущем переходе, как это показано на рис. 2;

2) погрешностей относительных поворотов поверхностей заготовок или обрабатываемых деталей, поступающих на данный переход;

3) погрешностей формы поверхностей заготовок или деталей, если эти погрешности по каким-либо причинам могут выходить за пределы допуска на размер (например, в результате термообработки, деформации, происходящие вследствие перераспределения остаточных напряжений и т.д.);-

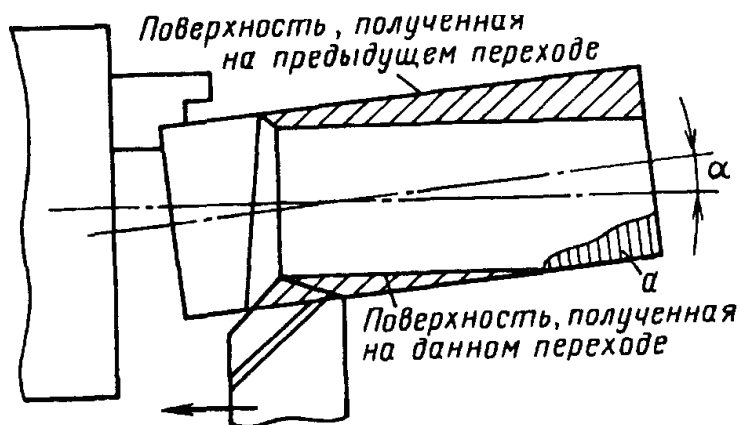


Рис. 2. Сохранение части поверхности, полученной на предшествующем переходе, из-за погрешности установки заготовки

4) следов режущего инструмента, оставшихся от предшествующего перехода, в виде шероховатости поверхности;

5) удаления дефектного поверхностного слоя материала, если он появляется в результате выполнения предшествующего перехода и может сохраниться частично или возрасти на данном переходе.

Следовательно, для компенсации всех рассмотренных погрешностей, оказывающих влияние на качество поверхности детали, получаемой на данном переходе, необходимо оставлять наименьший припуск $Z_{нм}$, для расчета которого может служить формула

$$Z_{нм} = H_{нб} + T + П + \Phi + Y,$$

где $H_{нб}$ - расчетная высота микронеровностей, установленная для поверхности детали, получаемой на предыдущем переходе; T — расчетная глубина дефектного поверхностного слоя, получаемого на предыдущем переходе; $П$ - расчетная величина погрешности относительных поворотов поверхности детали, получаемой на предыдущем переходе; Φ - расчетная величина погрешности формы поверхности детали, получаемой на предыдущем переходе; Y - расчетная величина погрешности установки детали на данном переходе.

При расчете минимально необходимого припуска на обработку следует всегда учитывать конкретные условия протекания разрабатываемого технологического процесса, так как в зависимости от этого, в ряде случаев, часть слагаемых будет не нужна. Благодаря этому можно существенно уменьшить минимальный припуск на обработку, сэкономив материал и расходы, затрачиваемые на его удаление при обработке. Например, при выполнении ряда технологических процессов дефектный слой настолько незначителен, что он легко удаляется за счет других составляющих припуска на обработку и для его компенсации специально оставлять слой материала нет необходимости.

Качество изделия

Когда речь идет о качестве изделия, то следует понимать не потребительские свойства изделия, так как они входят в состав задачи (служебного назначения), решаемой конструктором при проектировании изделия, а те свойства, с помощью которых они достигаются конструкцией изделия.

В этом случае изделие рассматривается как некоторая техническая система, представляющая собой совокупность функциональных модулей, объединенных в определенную конструкцию, и обладающая необходимыми свойствами. Отсюда под качеством изделия будем понимать совокупность свойств конструкции изделия, обуславливающих ее способность выполнять служебное назначение.

К свойствам, характеризующим качество конструкции изделия как объекта эксплуатации, относятся ее геометрическая точность, прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость, теплостойкость и др.

Каждое из перечисленных свойств описывается качественными и количественными показателями, объединенными в систему технических требований.

Следует различать *показатели качества конструкции изделия и его элементов*. К первым относятся те, которые непосредственно влияют на выполнение изделием служебного назначения; ко вторым - показатели, которые формируют выходные показатели изделия.

Влияние качества элементов конструкции изделия на выходные показатели его качества осуществляется через соответствующие связи (например, на выходную точность конструкции изделия влияют размерные связи деталей, на прочность конструкции - прочность деталей, на жесткость конструкции - жесткости деталей).

Прочность конструкции из трех деталей *1-3* (рис. 3) определяется минимальной прочностью одной из трех деталей: точность размера A определяется точностью размеров A_1, A_2, A_3 .

Если говорить о жесткости этой конструкции, где под жесткостью j понимается отношение силы P к перемещению y , то величина жесткости j конструкции будет определяться из равенства

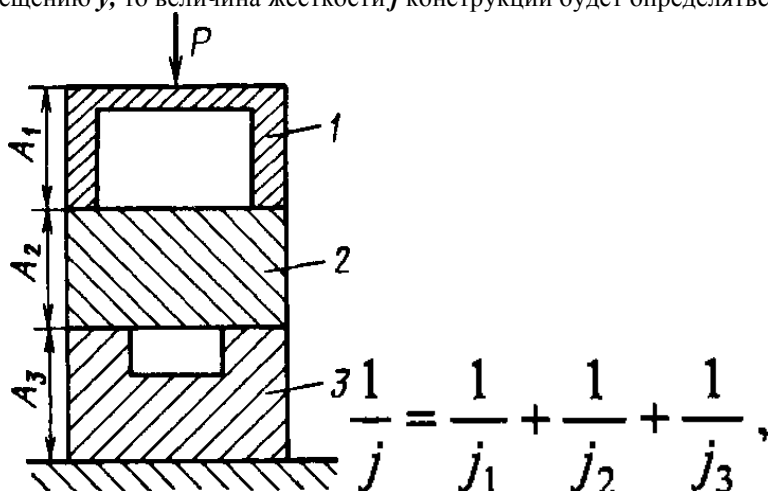


Рис. 3 Конструкция из трех деталей *1-3*
где j_j - жесткость j -й детали.

Сопоставление влияния прочности, точности и жесткости деталей конструкции на выходные показатели показывает их принципиальное различие. В первом случае прочность конструкции определяется минимальной прочностью одной из деталей, находящихся под воздействием силы P , в то время как точность и жесткость конструкции изделия зависят от точности и жесткости всех деталей.

В результате изготовления изделия значения его качественных показателей отличаются от заданных, вследствие чего на их отклонения устанавливают допуски.

Установление оптимальных на данном уровне развития техники допусков на отклонение значений каждого из показателей качества представляет одну из наиболее ответственных и сложных задач машиностроения. С одной стороны, с уменьшением допусков на показатели качества изделие будет работать лучше, однако это повлечет за собой увеличение затрат на его изготовление и повысит расходы на эксплуатацию из-за необходимости более частых ремонтов для восстановления требуемого качества изделия.

Таким образом, допуски на все показатели качества изделия должны устанавливаться на основе технико-экономических расчетов, обеспечивающих достижение наименьших затрат общественно необходимого труда на решение задач, для выполнения которых создается данное изделие, а также с учетом конкуренции.

Допуски на все показатели качества изделия, установленные исходя из его служебного назначения, делятся обычно на две части: первая часть - для компенсации погрешностей изготовления изделия; вторая - для компенсации погрешностей (например, вследствие износа), возникающих в процессе эксплуатации изделия.

Здесь в противоречие вступают интересы потребителей и производителей изделий, заключающиеся в том, что изготовителю выгоднее иметь больше допуск на изготовление (легче и дешевле достичь заданного качества), а потребителю выгоднее иметь больший допуск на эксплуатацию (дешевле эксплуатация). Это противоречие должно разрешаться на основе интересов общества, т.е. достижения наименьших затрат общественного труда. Неправильное решение этой задачи может привести к тому, что новое изделие через короткое время эксплуатации потеряет возможность выполнять свое служебное назначение, так как завод-изготовитель использовал большую долю допусков на изготовление изделия и почти ничего не оставил на его износ.

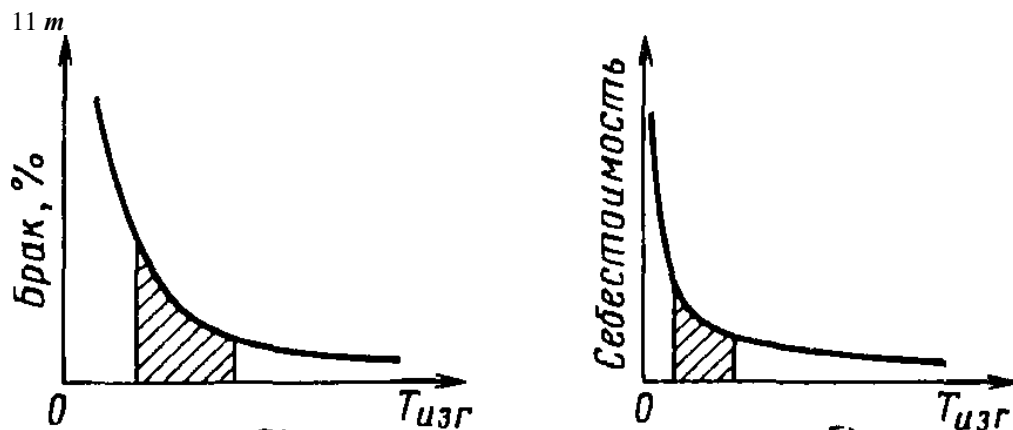


Рис. 5. Зависимости брака и себестоимости изделия от допуска (заштрихованные участки соответствуют рациональным допускам на изготовление)

Опыт машиностроения показывает, что вследствие недостаточности знаний для исчерпывающего объяснения явлений, происходящих при работе изделий, и недостатков инженерных методов расчета приходится ужесточать допуски. В то же время безграничное увеличение допуска на изготовление, как следует из рис. 5, нецелесообразно. Действительно, поскольку кривые асимптотически приближаются к осям, то при каком-то значении допуска на изготовление дальнейшее его увеличение не приведет практически к снижению себестоимости изготовления изделий и не снизит брак. Зависимости "себестоимость эксплуатации - допуск на эксплуатацию" носят аналогичный характер. Задача конструктора состоит в делении допуска на две рациональные части таким образом, чтобы получить наименьшие затраты общественно полезного труда.

Поскольку деталь представляет собой совокупность элементарных поверхностей, то условилось оценивать точность детали через точность ее поверхностей и их относительного положения.

Точность изготовления. Под точностью изготовления детали понимается степень соответствия ее параметров параметрам, заданным конструктором в рабочем чертеже детали.

Соответствие деталей – реальной и заданной конструктором определяются следующими параметрами:

- точностью формы детали и ее рабочих поверхностей, характеризуемой обычно овальностью, конусностью, прямолинейностью и т.д.;
- точностью размеров детали, определяемой отклонением размеров от номинальных;
- точностью взаимного расположения поверхностей, задаваемых параллельностью, перпендикулярностью, concentricностью и т.д.;

- качеством поверхности, определяемую шероховатостью и физико-механическими свойствами (материалом, термообработкой, поверхностной твердостью).

Размер понимается как расстояние между двумя небольшими участками двух или одной поверхности, поэтому практически в подавляющем (большинстве случаев безразлично, от которой из двух поверхностей или от какой из выбранных частей одной поверхности до другой производится измерение расстояния. В соответствии с этим размер принято изображать двусторонней стрелкой, соединяющей участки измеряемых поверхностей или одной поверхности.

Точность геометрической формы поверхности описывается с помощью трех показателей точности: макрогеометрии, волнистости и микрогеометрии

1) под макрогеометрическими отклонениями понимают отклонения реальной поверхности от правильной геометрической формы в пределах габаритных размеров этой поверхности (например, отклонение плоской поверхности от плоскостности, поверхности кругового цилиндра, конуса, шара от их геометрических прототипов);

2) под волнистостью понимают периодические неровности поверхности, встречающиеся на участках протяженностью от 1 до 10 мм;

3) под микрогеометрическими отклонениями (микронеровностями) понимают отклонения реальной поверхности в пределах небольших ее участков, обычно размером 1мм^2 (микрогеометрические отклонения шероховатостью поверхности).

В качестве примера на рис. 6 показаны отклонения сечения цилиндрической поверхности детали:

отклонение диаметрального размера $\Delta d = D - d$ (рис. 6, а); - макрогеометрическое отклонение, когда вместо окружности профиль реальной поверхности является овалом (рис. 6, б); волнистость (рис. 6, в); шероховатость (рис. 6, з).

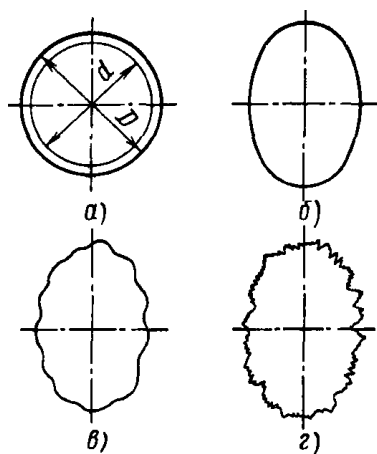


Рис. 6 Погрешности детали: а - погрешность диаметра; б - погрешность формы; в - волнистость; з – шероховатость

Измерение точности детали должно начинаться с измерения микронеровностей, затем должны измеряться макронеровности, далее отклонения поворота поверхности и, наконец, точность расстояния или размера;

Допуски на расстояния и размеры поверхностей детали должны быть больше допусков на величину отклонений поворота поверхностей, которые, в свою очередь, должны быть больше допусков на макрогеометрические отклонения, а последние больше допусков на микрогеометрические отклонения.

Точность обработки или точность технологического процесса характеризуется погрешностью изготовления продукции, т.е. отклонением действительного значения параметра от его номинальных значений, установленного нормативной документацией.

Эти отклонения (погрешности) могут носить систематический или случайный характер.

Случайные погрешности изготовления изделия – это составляющая погрешности производства продукции, случайным образом принимающая при неизменных условиях различные модуль и знак (результат работы системы СПИД – станок, приспособление, инструмент, деталь).

При тех же условиях *систематическая погрешность* – это составляющая сохраняющая или принимающая закономерно изменяющиеся модуль или знак. Если систематическая случайная погрешность носит постоянный характер, то это связано с неисправностью станка или настройкой инструмента, а если носит изменяющийся характер, то это связано с режущим инструментом.

Точность обработки деталей может быть обеспечена по существу двумя методами:

- метод пробных проходов и промеров;
- метод автоматического получения размеров.

При первом методе, называемом также методом индивидуального получения размеров, станочник подводит режущий инструмент к заготовке, снимает с короткого участка пробную стружку. Толщину снимаемого слоя он определяет как разницу между размерами заготовки и готовой детали. Число пробных проходов и корректировок инструмента зависит от квалификации станочника и требуемой точности. Способ пробных проходов и промеров ограничивается индивидуальным и мелкосерийным производством.

В массовом и крупносерийном производстве получение заданных размеров достигается автоматическим путем предварительной настройкой станка. Влияние станочника на точность обработки в этом случае сводится к минимуму. Настройка станка заключается в установке инструмента в определенное неизменное положение относительно детали и станка один раз при наладке на операцию. Положение его меняют в случае износа или замены его. Точность обработки достигается автоматическим контролем и подналадкой инструмента или станка при выходе детали из поля допуска.

На точность технологического процесса влияют различные факторы, из которых в первую очередь рекомендуется учитывать следующие: неточность станка в не нагруженном состоянии; силовые деформации системы СПИД (станок- приспособление- инструмент- деталь); погрешность установки; неточность наладки и подналадки; неточность изготовления режущего инструмента и его размерный износ; температурные деформации системы СПИД; неточность детали вследствие перераспределения внутренних напряжений.

Факторы, определяющие точность обработки

Неточность станка в ненагруженном состоянии. Известно, что любой станок имеет определенные геометрические неточности (биение шпинделя, непрямолинейность перемещения суппорта, неперпендикулярность оси шпинделя к плоскости стола и т.п.) которые приводятся в техническом паспорте каждого станка. Для предупреждения возможности появления брака необходимо выбирать оборудование, которое по своим характеристикам может обеспечить требуемую точность изготовления детали. А для оборудования необходимо регулярно проводить техническое обслуживание и ремонт.

Силовые деформации системы СПИД. Силовые деформации зависят от силы резания и жесткости системы СПИД. Сила резания зависит от режимов резания, материала заготовки и инструмента, формы режущего инструмента и т.п.

Для уменьшения влияния на точность обработки деформаций системы СПИД можно рекомендовать:

- увеличить жесткость системы СПИД с помощью дополнительных приспособлений (люнеты, выдвигаемые опоры и т.п.);
- изменить режимы резания при появлении резонансных колебаний;
- расположить оборудование вдали от источников вибрации;
- установить оборудование на пневморезиновые подушки, виброгасители (гидравлические, механические и т.п.)

Погрешность установки. В общем случае погрешность установки складывается из погрешностей технологической базы, приспособления, закрепления.

Основные рекомендации по уменьшению погрешностей установки:

- приспособление по точности изготовления должна превышать точность изготовления детали в два раза;
- силы и моменты, прикладываемые к закрепляемой заготовке, устанавливать больше сил и моментов, возникающих при резании;

По вопросам базирования и уменьшения погрешностей рекомендации приведены в разделе «Базирование деталей».

Неточность изготовления режущего инструмента и его износ. Неточность изготовления заготовки в основном при применении сверл, зенкеров, протяжкой, фасонным инструментом и т.п. Интенсивность износа режущего инструмента в значительной степени зависит от материала инструмента и заготовки, геометрии и состояния лезвия, режимов резания, жесткости системы СПИД и др.

Для уменьшения влияния износа режущего инструмента на точность обработки рекомендуется следующее:

- выбирать более износостойкий режущий инструмент;
- применять смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ), так как она приводит к уменьшению сил резания;
- не работать на режимах, приводящих к вибрации системы СПИД.

Температурные деформации системы СПИД. При обработке резанием происходит нагрев элементов станка, инструмента и заготовки, вследствие чего происходят их перемещения, которые отражаются на точность обработки. Из элементов станка наиболее нагреваются шпиндельные бабки. Продолжительность нагрева обычно составляет 3...5 ч. Распределение теплоты резания между стружкой, деталью и инструментом зависит от метода и условий обработки, материала обрабатываемой детали и инструмента. Так, при точении углеродистых сталей 60...90 % тепла уходит в стружку, а в инструмент – 3...5 %; при точении жаропрочных, титановых сплавов 35...45 % тепла переносится в деталь и 20...40 % - в резец, остальное – в стружку.

Для уменьшения влияния температурных деформаций рекомендуется следующее:

- применять СОЖ;
- работать на высоких скоростях и повышенных подачах, так как это ведет к уменьшению продолжительности теплового воздействия;
- уменьшать глубину резания;
- не совмещать черновую и чистовую обработку;
- не производить измерение заготовки непосредственно после обработки;
- поддерживать постоянный температурный режим в цехе;
- обработку точных деталей производить после достижения станком теплового баланса.

Основные понятия о качестве поверхности

Качество характеризуется двумя основными признаками:

- физико-механическими свойствами поверхностного слоя металла;
- степенью шероховатости поверхности.

В процессе механической обработки от действия режущего инструмента на поверхности металла остаются гребешки и впадины и структура поверхностного слоя изменяется; поверхностный слой испытывает пластические деформации и образуется наклеп, твердость его повышается, возникают внутренние напряжения.

Чем больше подача и глубина резания – тем больше толщина наклепанного слоя и достигает десятых долей миллиметра. При повышении скорости резания толщина наклепанного слоя небольшая и выражается в сотых долях миллиметра.

Поверхностный слой детали, как правило, по своим физико-химическим свойствам отличается от свойств основного материала детали. Он формируется при изготовлении и эксплуатации и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой характеризуется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами (рис. 7).

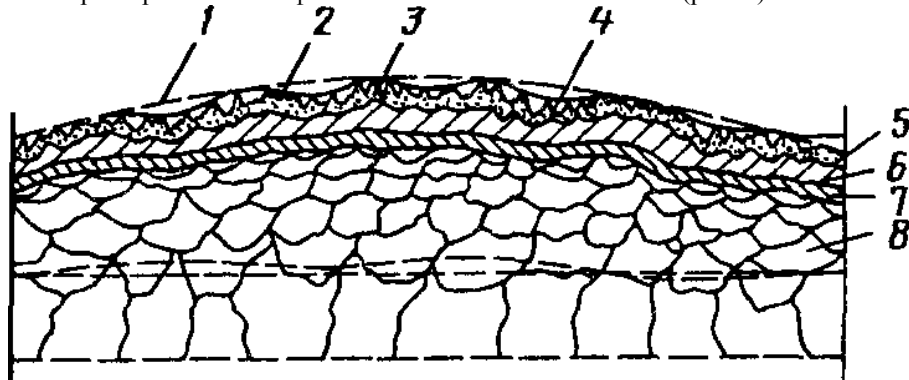


Рис. 7. Схема поверхностного слоя детали:

1 - макроотклонение; 2 - волнистость; 3 - шероховатость; 4 - субшероховатость; 5 - адсорбированная зона; 6 - зона оксидов; 7 - граничная зона материала; 8 - зона материала с измененными физико-химическими свойствами

Макроотклонение 1 поверхности - это неровность высотой $10^2 \dots 10^3$ мкм на всей ее длине или ширине - характеризуется погрешностями формы – овальность, конусность, бочкообразность и др.;

Волнистость 2 поверхности — совокупность неровностей высотой примерно $10^2 \dots 10^3$ мкм с шагом большим, чем базовая длина, используемая для ее измерения.

Под шероховатостью 3 поверхности понимают совокупность неровностей высотой $10^2 \dots 10^3$ мкм с шагом меньшим, чем базовая длина, используемая для ее измерения.

Субшероховатость 4 - это субмикронеровности высотой примерно $10^3 \dots 10^2$ мкм, накладываемые на шероховатость поверхности.

Верхняя зона 5 толщиной около 10... 100 мкм - это адсорбированный из окружающей среды слой молекул и атомов органических и неорганических веществ (например, воды, СОЖ, растворителей, промышленных жидкостей).

Промежуточная зона 6 толщиной примерно $10^3 \dots 1$ мкм представляет собой продукты химического воздействия металла с окружающей средой (обычно оксидов).

Граничная зона 7 имеет толщину, равную нескольким межатомным расстояниям со значительно измененными кристаллической и электронной структурой и химическим составом.

Зона 8 имеет толщину примерно $10^4 \dots 10$ мкм с измененными физико-химическими свойствами по сравнению со свойствами основного материала, где под физико-химическими свойствами поверхностного слоя понимают остаточные напряжения, наклеп и структуру. Поверхностные остаточные напряжения оцениваются макронапряжениями 1-го рода, макронапряжениями 2-го рода и статическими искажениями решетки (напряжения 3-го рода).

Поверхность может быть волнистой и в то же время грубошероховатой или наоборот гладкой и чистой.

Поверхности обработанные режущим инструментом (резцом, фрезой и др.) имеют шероховатости различного характера: продольную в направлении вектора скорости резания и поперечную в направлении, перпендикулярном указанному вектору. Поперечная шероховатость обычно больше чем продольная. При чистовой обработке абразивным инструментом они одинаковые.

Факторы, от которых зависит качество обрабатываемой поверхности:

- род и свойства материала;
- способ механической обработки (точение, строгание и т.д.);
- режим резания;
- жесткость системы СПИД;
- геометрия инструмента;
- материал инструмента;
- охлаждение в процессе резания.

Значение качества поверхности деталей машин. Качество поверхностей оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства детали.

Так износоустойчивость поверхности помимо многих других факторов зависит от ее качества. На износ поверхности детали влияют макронеровность, волнистость и микронеровности. При макронеровностях и волнистости износ поверхности происходит неравномерно. Сначала изнашиваются выступающие части поверхности и в первую очередь деформируются и истираются гребешки поверхности.

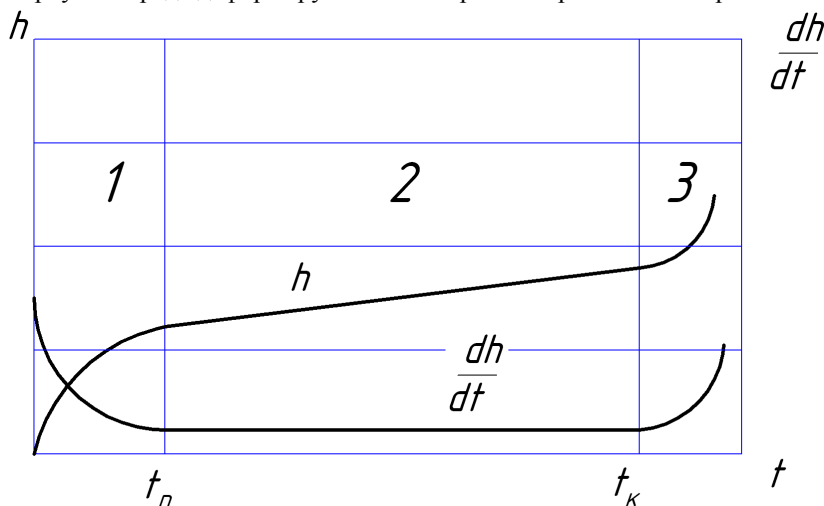


Рисунок 8 - Зависимость износа h и скорости dh/dt изнашивания от времени работы

Форма неровностей также оказывает влияние на износ. Более многочисленные неровности при одинаковой их высоте обеспечивают меньший темп износа.

Усталостная прочность деталей снижается с увеличением шероховатости особенно при знакопеременных нагрузках на деталь. Концентрация напряжений, вызывающих разрушение поверхности, происходит в результате неровной поверхности. Особенно интенсивно снижается усталостная прочность при острой шероховатости. Уменьшение шероховатости неблагоприятно сказывается на прочности прессовых соединений и коррозионной стойкости деталей.

Качество неподвижных соединений так же зависит от шероховатости поверхности. Для прочного неподвижного соединения двух деталей необходимо, чтобы класс шероховатости был достаточно высоким, т.е. микронеровности были возможно меньше, так как при этом соединении гребешки сминаются, диаметры изменяются и меняются сила запрессовки и натяга.

Чем больше шероховатость поверхности, тем активнее воздействие коррозии.

Формирование качества поверхности технологическими методами.

Шероховатость зависит от большого числа факторов: вида и режима обработки, инструмента, станка, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала и др.

Скорость резания в зависимости от материалов по-разному влияет на шероховатость. С увеличением скорости резания шероховатость поверхности у хрупких материалов уменьшается за счет того, что уменьшается откалывание части металла при образовании стружки. У легкоплавких металлов при увеличении скорости резания шероховатость вначале уменьшается, а затем резко возрастает из-за значительного нагрева и оплавления поверхности. При шлифовании шероховатость с увеличением скорости резания уменьшается.

При увеличении подачи шероховатость увеличивается. при всех видах обработки и применяемого инструмента..

Глубина резания при обработке лезвийным инструментом практически не оказывает влияния на шероховатость. При шлифовании шероховатость возрастает с увеличением глубины резания.

Заметное влияние на шероховатость оказывает жесткость системы СПИД. Чем больше вибрация системы СПИД, тем значительнее высота неровностей.

Применение смазочно-охлаждающей жидкости приводит к снижению шероховатости.

Характеристика качества поверхности

Под шероховатостью поверхности понимается совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характеристики поверхности и равна базовой длине. ГОСТом 2789-73 установлено 14 классов шероховатости, а классы с 6 по 14 разделены еще на разряды - по три разряда в каждом (а,б,в). Первому классу соответствует максимальная шероховатость, а 14 – наиболее гладкая поверхность.

Для количественной оценки шероховатости поверхности на базовой длине l установлено шесть параметров. Для нас наиболее интересными являются два параметра:

среднее арифметическое отклонение профиля (R_a), которое определяется как среднее арифметическое абсолютных значений отклонения профиля в пределах базовой длины l . Суммирование величин отклонений ведется без учета алгебраического знака.

$$R_a = 1/l \sum_1^n h_i$$

высота неровностей профиля по десяти точкам (R_z), которая определяется - как сумма средних арифметических отклонений точек пяти наибольших минимумов ($H_2, H_4, H_6, H_8, H_{10}$) и пяти наибольших максимумов профиля (H_1, H_3, H_5, H_7, H_9) в пределах базовой длины.

$$R_z = \frac{(H_1+H_3+H_5+H_7+H_9) - (H_2+H_4+H_6+H_8+H_{10})}{5}$$

Параметр R_a является основой шкалой для классов с 6 по 12, а параметр R_z - с 1 по 6 и с 12 по 14 включительно.

Основные сопряжения деталей двигателя имеют класс шероховатости 8...9, за исключением прецизионных пар топливных насосов, форсунок имеющих 11...12 класс, а зеркало цилиндров – 10...11 класс.

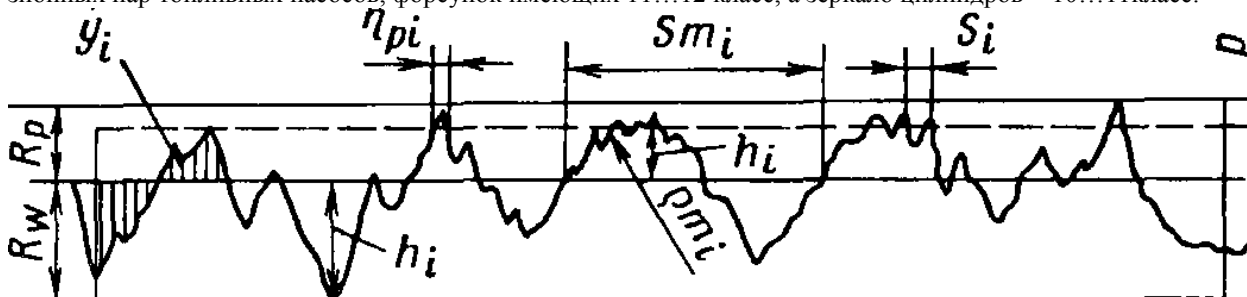


Рисунок 9. Профилограмма шероховатости поверхности

Таблица 1 - Классы шероховатости (ГОСТ 2789-59) и соответствующие им наибольшие значения параметров шероховатости (ГОСТ 2789-73)

Классы шероховатости	Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина L, мм
	R_a	R_z	
1	80	320	8,0
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	0,25
9	0,32	1,6	
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	
13	0,02	0,1	
14	0,01	0,05	0,08

Таблица 2 - Классы шероховатости поверхности, достигаемые различными видами обработки

Вид обработки	Класс шероховатости	Вид обработки	Класс шероховатости
Точение и строгание чистовое тонкое	4...7 7...9	Шлифование черновое чистовое тонкое	7 8...9 10...11
Растачивание Тонкое	4...7 8...10	Хонингование чистовое отделочное	9...10 11...13
Фрезерование Отделочное	5...7 7...9	Притирка отделочная	10...11 12...14
Развертывание Чистовое	7 8...9	Полирование отделочное	10 11...13
Протягивание Отделочное	7...8 9...10	Суперфиниш Тонкая	10...11 12...14

Основные требования по точности определены в ГОСТ 25346-89. Согласно которому
Размер - числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.
Действительный размер - размер элемента, установленный измерением с допустимой погрешностью.
Квалитет - совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.
Нулевая линия - линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок.
Вал - термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.
Отверстие - термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.
Посадка - характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.
Допуск посадки - сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.
Зазор (S) - разность между размерами отверстия и вала до сборки, если отверстие больше размера вала.
Натяг (N) - разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия.
Посадка с зазором - посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т. е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала.
Посадка с натягом - посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. наибольший предельный размер отверстия меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала.
Переходная посадка - посадка, при которой возможно получение, как зазора так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала. При графическом изображении поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично.
 Более подробно материал по допускам и посадкам можно посмотреть в Анухин. В.И. «Допуски и посадки». Косилов «Справочник технолога машиностроительного производства».

Поля допусков отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм

Квали- теты	Основные отклонения																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U
4								H4	J4									
5								H5	J5	K5		M5	N5					
6								H6	J6	K6		M6	N6	P6				
7								H7	J7	K7		M7	N7	P7	R7	S7	T7	U8
8				D8	E8	F8		H8	J8	K8		M8	N8					
9				D9	E9	F9		H9	J9									
10				D10				H10	J10									
11	A11	B11	C11	D11				H11	J11									
12								H12	J12									

⊕ 0 ⊖ - предпочтительные поля допусков

Поля допусков вала при номинальных размерах от 1 до 500 мм

Квали- теты	Основные отклонения																	
	a	b	c	d	e	f	g	h	j	k	l	m	n	p	r	s	t	u
4								j4	h4	j4	k4							
5								j5	h5	j5	k5							
6								j6	h6	j6	k6							
7								j7	h7	j7	k7							
8				d8	e8	f8		j8	h8	j8								
9				d9	e9	f9		j9	h9	j9								
10				d10	e10			j10	h10	j10								
11	d11	e11	f11					j11	h11	j11								
12								j12	h12	j12								

⊕ 0 ⊖ - предпочтительные поля допусков

Предельное отклонение предпочтительных полей допусков отверстия в зависимости от номинальных размеров

Номиналь- ный размер D, мм	предпочтительные поля допусков и их предельные значения, мкм								
	H7	K7	N7	P7	ES	NS	E9	H9	H11
3-11	-15 0	+5 -10	-4 -19	+28 +13	-35 +13	+22 0	+61 +25	+36 0	+90 0
12-18	+14 0	+6 -12	-5 -23	+34 +16	+43 +16	+27 +13	+75 +32	+43 0	+110 0
19-30	+21 0	+6 -15	-7 -28	+41 +20	+53 +20	+33 0	+92 +40	+52 0	+135 0
	+25 0	+7 -18	-8 -33	+50 +25	+64 +25	+39 0	+112 +50	+62 0	+160 0
32-50	+30 0	+9 -21	-9 -39	+60 +30	+75 +30	+46 0	+134 +60	+74 0	+190 0
55-80	+35 0	+10 -25	-10 -45	+71 +36	+90 +36	+80 0	+159 +72	+87 0	+220 0
85-120	+43 0	+12 -45	-12 -80	+131 +36	+232 +36	+97 0	+290 +85	+155 0	+400 0

Предельное отклонение предпочтительных полей допусков вала

Номинальные размеры, мм	поля допусков и их предельные значения, мкм													
	<i>m6</i>	<i>js6</i>	<i>k6</i>	<i>h6</i>	<i>F6</i>	<i>f7</i>	<i>h7</i>	<i>e8</i>	<i>h8</i>	<i>F8</i>	<i>js9</i>	<i>h9</i>	<i>h10</i>	<i>h11</i>
6-10	+19	+10	+15	0	+24	-13	0	-25	0	-25	-40	0	-40	0
	+10	+1	+5	-9	+15	-28	-15	-47	-22	-47	-76	-36	-130	-90
10-18	+25	+12	+18	0	+24	-16	0	-32	0	-32	-50	0	-50	0
	+12	+1	+7	-11	+18	-34	-18	-59	-27	-59	-93	-43	-160	-180
18-30	+28	+15	+21	0	+35	-20	0	-40	0	-40	-65	0	-65	0
	+15	+2	+8	-13	+22	-41	-21	-79	-33	-79	-117	-52	-195	-210
30-50	+33	+18	+25	0	+42	-25	0	-50	0	-50	-80	0	-80	0
	+17	+2	+9	-16	+26	-50	-25	-89	-39	-89	-142	62	-240	-250
50-80	+34	+21	+30	0	+51	-30	0	-60	0	-60	-100	0	-100	0
	+20	+2	+11	-19	+32	-60	-30	-106	-46	-106	-174	-74	-290	-300
80-120	+45	+25	+35	0	+54	-32	0	-72	0	-72	-120	0	-120	0
	+23	+3	+13	-22	+37	-107	-35	-126	-54	-126	-207	-87	-340	-350
120...500	+80	+45	+55	0	+108	-85	0	-85	0	-85	-145	0	-145	0
	+27	+5	+23	-40	+64	-198	-63	-232	-97	-232	-385	-155	-680	-400