

**А. Г. ХОЛОДКОВА**

# **ОБЩИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И РАБОТ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

**УЧЕБНИК**

*Рекомендовано  
Федеральным государственным автономным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебника для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы НПО*

*Регистрационный номер рецензии 169  
от 08 мая 2013 г. ФГАУ «ФИРО»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2014

УДК 621.91(075.32)  
ББК 34.63я722  
Х733

Рецензент —

председатель цикловой комиссии «Технология машиностроения» ГБОУ СПО  
«Политехнический колледж № 39» г. Москвы *В. В. Ермолаев*

**Холодкова А. Г.**

Х733 Общие основы технологии металлообработки и работ на металлорежущих станках : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А. Г. Холодкова. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 256 с.

ISBN 978-5-7695-6943-2

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Рассмотрена технология металлообработки на металлорежущих станках, приведены данные по точности получаемых деталей. Представлена общая методика разработки технологических процессов, в том числе типовых деталей. Рассмотрены применяемые станки, режущий инструмент и технологическая оснастка.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.91(075.32)  
ББК 34.63я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Холодкова А. Г., 2014  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2014  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2014  
ISBN 978-5-7695-6943-2

## Уважаемый читатель!

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по дисциплинам общепрофессионального цикла для технических профессий.

Учебник предназначен для изучения общепрофессиональной дисциплины «Общие основы технологии металлообработки и работ на металлорежущих станках».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включен терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

Электронный образовательный ресурс «Общие основы технологии металлообработки и работ на металлорежущих станках» находится в стадии разработки.

## Предисловие

Основное внимание в учебнике уделено общим вопросам технологии машиностроения, особенностям и методам обработки различных поверхностей деталей. Рассмотрены типы применяемых металлорежущих станков и даны их характеристики. Представлены типы режущих инструментов, их конструкции, материалы и режимы резания. Описаны конструкции приспособлений, используемых в станках основных групп, приведены конструктивные особенности элементов приспособлений и необходимые расчетные данные.

Изложены основные положения и требования к разработке технологического процесса изготовления деталей и представлены типовые технологические процессы обработки деталей — представителей разных классов.

Машиностроение является главной отраслью экономики, которая определяет возможность развития других отраслей и обеспечивает создание новых и совершенствование имеющихся машин. Отличительной особенностью современного машиностроения является существенное изменение эксплуатационных характеристик машин: увеличение скорости, мощности, уменьшение массы, объема, вибраций, снижение шума и т. п.

Совершен невиданный скачок в развитии станкостроения. Если в 1920—30-е гг. в механических цехах заводов стояли универсальные токарные, сверлильные, фрезерные станки с ременными приводами, то в настоящее время станочный парк имеет станки-автоматы, станки с ЧПУ и многоцелевые станки, работающие по программе ЭВМ, выполняющие несколько десятков операций, оснащенные многоинструментальными магазинами (32—40 инструментов и более), автоматические линии и роботизированные комплексы.

Технический прогресс в машиностроении характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и совершенствованием технологии их производства. Термин «технология», образованный из двух греческих слов *techne* (искусство, мастерство, умение) и *logos* (учение), означает науку, систематизирующую совокупность приемов и способов обработки сырья, материалов, полуфабрикатов соответствующими орудиями производства в целях получения готовой продукции. Создавать машины необходимо качественно, экономично, в заданные сроки и с минимальными затратами труда. Причем в условиях рыночных отношений быстрота реализации принятых решений играет главенствующую роль.

Развитие новых прогрессивных технологических процессов способствует созданию более совершенных машин и снижению их себестоимости.

Актуальна задача повышения качества выпускаемых машин, и в первую очередь, точности их изготовления. В XXI в. точность деталей машин возросла почти в 2 000 раз. Такого повышения не

наблюдается ни по одному из показателей служебных характеристик машин. В ряде производств уже становится нормой изготовление деталей с микрометрической и нанометрической точностью.

Основные направления развития современных технологий следующие: переход к автоматизированным технологическим процессам, обеспечивающим требуемое качество продукции; внедрение безотходных и малоотходных технологий для наиболее полного использования материалов, энергии и топлива; создание гибких производственных систем; широкое использование промышленных роботов и робототехнологических комплексов.

Теоретические основы технологии машиностроения базируются на положениях и закономерностях таких фундаментальных дисциплин, как физика, химия, теоретическая механика, сопротивление материалов, теория вероятностей, математическая статистика, а также смежных технических дисциплин: технологии конструкционных материалов, материаловедения, теории резания и метрологии и др. Технология машиностроения развивалась и развивается по многим направлениям, возглавляемым видными учеными, работниками промышленных предприятий и исследовательских институтов.

Материал данного учебника позволит студентам ознакомиться с основными понятиями, положениями и закономерностями основ технологии машиностроения, сравнительными характеристиками, особенностями и технологическими возможностями различных технологических методов механической обработки, применяемого оборудования, технологической оснастки и режущего инструмента.

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

## 1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ (ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ)

**Производственный процесс** — совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления и ремонта изделий.

Производственный процесс включает в себя подготовку и обслуживание средств производства; получение материалов, полуфабрикатов, заготовок (если на предприятии отсутствует заготовительное производство) и их хранение; изготовление заготовок и различные методы их обработки (механические, термические и др.); сборку изделий и испытание; контроль качества на всех стадиях производства; отделку, окраску, упаковывание, транспортирование и хранение готовой продукции.

**Технологический процесс** — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению состояния предмета производства.

Организацию производства и характер технологического процесса изменяют в соответствии с числом выпускаемых изделий, их сложностью и трудоемкостью изготовления. Производство подразделяют на единичное, серийное и массовое.

*Единичное производство* характеризуется выпуском широкой номенклатуры изделий в малом количестве, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается. Например, изготовление экспериментальных образцов машин, уникального оборудования и т. п.

*Серийное производство* характеризуется выпуском изделий партиями или сериями, периодически повторяющимся через определенные промежутки времени. В зависимости от числа изделий в

серии производство подразделяют на мелко-, средне- и крупносерийное. Серийно выпускают различные станки, редукторы, компрессоры и т. п. В серийном производстве используют универсальное, специализированное и специальное оборудование, в том числе станки с числовым программным управлением (ЧПУ), многоцелевые станки, гибкие производственные системы (ГПС). При этом на большинстве рабочих мест выполняют периодически повторяющиеся операции.

*Массовое производство* характеризуется выпуском большого числа изделий одного и того же типа в течение длительного времени. Изделиями массового производства являются легковые автомобили, шариковые подшипники и т. п. В массовом производстве широко используют специальное высокопроизводительное оборудование, автоматические линии, специальные инструменты и приспособления, средства автоматизации при транспортировании и контроле. Оборудование располагают в соответствии с последовательностью выполняемых технологических операций. На большинстве рабочих мест выполняется одна постоянно закрепленная за ними технологическая операция.

Основным критерием, определяющим тип производства, является коэффициент закрепления операций

$$K_{з.о} = Q/P,$$

где  $Q$  — число операций, выполняемых в течение месяца;  $P$  — число рабочих мест.

В массовом производстве  $K_{з.о}$  равен 1, крупносерийном — от 2 до 10, среднесерийном — от 10 до 20, мелкосерийном — от 20 до 40, единичном — свыше 40, т. е. практически не регламентируется.

Наиболее совершенной формой массового производства является поточное производство.

*Поточным* называют производство, характеризуемое расстановкой оборудования в полном соответствии с технологическим процессом и определенным интервалом выпуска изделий — тактом выпуска. Для организации непрерывного потока время выполнения операций должно быть равно или кратно такту.

*Такт*  $\tau$  — равномерно повторяющийся промежуток времени, затрачиваемый на выпуск единицы продукции в процессе производства. Такт выпуска, мин/шт., не зависит от трудоемкости изготовления изделия, его величина определяется программой выпуска изделия и фондом времени для выполнения этой программы:



$$\tau = \Phi \cdot 60 / N,$$

где  $\Phi$  — фонд времени, ч (год, месяц, сутки, смена);  $N$  — производственная программа за тот же период, шт.

При поточном производстве сокращаются цикл изготовления продукции и межоперационные заделы, снижается трудоемкость изготовления изделия и повышается производительность. Достоинства поточного производства настолько очевидны, что в серийном производстве при изготовлении изделий, близких по служебному назначению, сходных по размерам, форме и технологическому процессу, создают переменное-поточное и групповое поточное производство. В первом случае при переходе на обработку нового изделия поточную линию переналаживают, а во втором — линию оснащают приспособлениями и инструментами, позволяющими обрабатывать всю группу изделий без переналадки линии.

Технологический процесс подразделяют на технологические операции.

*Технологической операцией* называют законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Технологическая операция включает в себя все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими обрабатываемыми объектами производства.

*Рабочее место* — элементарная единица структуры предприятия, где размещаются исполнители работы, обслуживаемое ими технологическое оборудование и предметы производства.

Технологическая операция является основным элементом производственного планирования и учета. От числа операций и времени их выполнения зависят трудоемкость технологического процесса, число рабочих, занятых в нем, применяемое оборудование, инструмент и оснастка. В свою очередь технологическую операцию подразделяют на технологические и вспомогательные переходы.

*Технологический переход* — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством обрабатываемой поверхности, применяемого инструмента и режимов обработки. К режимам обработки относят глубину резания  $t$ , величину подачи  $S$ , скорость резания  $v$  и частоту вращения  $n$ . При изменении одного из перечисленных параметров начинается выполнение нового перехода. Так, обработка наружной поверхности вала одним и тем же резцом выполняется за два перехода: черновое и чистовое обтачивание, отличающихся режимами обработки. Обработка

точного отверстия выполняется за три перехода последовательно работающими инструментами: сверлом, зенкером, разверткой с соответствующими режимами обработки.

*Вспомогательный переход* — законченная часть технологической операции, состоящая из действий рабочего и (или) оборудования, не связанных с изменением размеров, формы и качества поверхностей заготовки, но необходимых для выполнения этой операции. К вспомогательным переходам относят установку и закрепление заготовки на станке, включение и выключение станка, подвод и отвод режущего инструмента, смену инструмента, перемещение заготовки на другую позицию, измерение размеров в процессе обработки заготовки.

При большой глубине резания технологический переход выполняют за несколько рабочих ходов (проходов).

*Рабочий ход* — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, при котором с ее поверхности снимается один слой материала.

*Прием* — законченная совокупность движений рабочего в процессе выполнения операции.

*Установ* — часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении заготовки. Технологическая операция может выполняться за один или несколько установов.

*Позиция* — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или оборудования при выполнении определенной части операции.

*Технически обоснованная норма времени* — время, мин, необходимое для выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Различают три метода нормирования: метод технического расчета по нормативам; метод расчета на основе изучения затрат времени на выполнение элементов повторяющихся операций с помощью хронометража или фотографии рабочего дня в течение одной или нескольких смен; метод сравнения и расчета по укрупненным нормативам.

*Техническая норма выработки* — величина, обратная норме времени, которая определяется числом деталей, обработанных в единицу времени.

Норму штучного времени и норму выработки устанавливают на каждую операцию. Для неавтоматизированного производства расчетная норма штучного времени

$$T_{\text{ш}} = T_o + T_b + T_{\text{т.о}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{п}}, \quad (1.1)$$

$T_o$  — основное (технологическое) время;  $T_b$  — вспомогательное время;  $T_{\text{т.о}}$  — время технического обслуживания;  $T_{\text{орг}}$  — время организационного обслуживания;  $T_{\text{п}}$  — время перерывов в работе.

Основное (технологическое) время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе механической обработки:

$$T_o = L_p i / v_{S_{\text{мин}}}, \quad (1.2)$$

где  $L_p$  — расчетная длина обработки, мм;  $i$  — число проходов в данном переходе;  $v_{S_{\text{мин}}}$  — скорость минутной подачи, равная произведению подачи на один оборот шпинделя  $S_o$ , мм/об, и частоты вращения шпинделя  $n$ , мин<sup>-1</sup>.

(Понятия подачи и частоты вращения подробно рассмотрены в гл. 2 и 4.)

Расчетную длину обработки определяют по формуле

$$L_p = l_{\text{вр}} + l + l_{\text{сх}},$$

где  $l_{\text{вр}}$  и  $l_{\text{сх}}$  — длины врезания и выхода (схода) режущего инструмента, определяющие точки включения и выключения его подачи;  $l$  — длина обрабатываемой поверхности (указывается на чертеже заготовки).

Расчеты  $L_p$  для различных видов обработки приведены в Приложении 1.

Вспомогательное время  $T_b$  охватывает действия, сопровождаемые выполнение основной работы:

$$T_b = T_{\text{ус}} + T_{\text{упр(х.х)}} + T_{\text{с.и}} + T_{\text{поз}} + T_{\text{изм}}, \quad (1.3)$$

где  $T_{\text{ус}}$  — время на установку, закрепление, раскрепление, переустановку и снятие заготовки со станка;  $T_{\text{упр(х.х)}}$  — время на управление станком (включение, переключение скоростей и подач), а также на подвод и отвод режущего инструмента (выполнение холостых ходов инструмента);  $T_{\text{с.и}}$  — время на смену режущего инструмента при выполнении последовательных переходов (например, сверления, зенкерования, зенкования фаски, развертывания) в процессе выполнения операции или на его перемещение из одной позиции в другую при работе на многооперационных станках;  $T_{\text{поз}}$  — время на перемещение заготовки из одной позиции в другую;  $T_{\text{изм}}$  — время измерения обрабатываемой поверхности в процессе выполнения операции, например шлифования.

Элементы вспомогательного времени устанавливаются по нормативам вспомогательного времени. Сумму основного  $T_o$  и вспомогательного  $T_b$  времени называют оперативным временем  $T_{оп}$ .

Время технического обслуживания  $T_{т.о}$  расходуется на смену затупившегося инструмента, его регулировку, подналадку оборудования. Время на организационное обслуживание учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы и его уборку в конце смены, смазку и чистку станка в течение смены.

Время перерывов  $T_{п}$  отводится на отдых и естественные потребности рабочего.

Для упрощения расчетов  $T_{ш}$  можно использовать формулу

$$T_{ш} = T_{оп}[1 + (\alpha + \beta + \gamma)/100],$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — доли времени, соответствующие техническому, организационному обслуживанию и перерывам. Для механической обработки обычно принимают сумму  $\alpha + \beta + \gamma = 6 \dots 10$ .

При обработке заготовок партиями определяется подготовительно-заключительное время  $T_{п-з}$ , которое затрачивает рабочий (или наладчик) на ознакомление с чертежами, подготовку и наладку оборудования, инструментов и оснастки на обработку всей партии деталей. Это время зависит от оборудования, характера выполняемой работы, степени сложности наладки, но не зависит от размера партии заготовок. При этом норма времени на партию

$$T_{пар} = T_{ш}n + T_{п-з},$$

где  $n$  — число заготовок в партии.

Соответственно время, затрачиваемое на одну заготовку, называемое штучно-калькуляционным, определяется по формуле

$$T_{ш-к} = T_{ш} + T_{п-з}/n.$$

## 1.2. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одним из важнейших показателей качества изделия является точность его изготовления, от которой зависят эксплуатационные характеристики, долговечность и надежность, трудоемкость в изготовлении и эксплуатации.

В технологии машиностроения точность — это степень соответствия выпускаемых изделий их заранее установленному прототипу или образцу.

Стандартами ИСО и ГОСТами установлены следующие показатели точности:

- точность размеров — расстояний между различными элементами деталей;
- точность формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от номинальной;
- точность расположения поверхностей деталей — отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от номинального расположения.

**Точность размеров** определяют допуском  $T$ , представляющим собой разность двух предельных (наибольшего и наименьшего) допустимых размеров. По ГОСТ 25346—89 установлено 19 квалитетов точности от IT01 до IT17, где IT — допуск по международный системе ИСО. Точность размеров на чертежах проставляют условными обозначениями полей допусков ( $\varnothing 50K6$ ,  $\varnothing 50H7$ ) или предельными отклонениями, мм; иногда указывают оба обозначения ( $\varnothing 50H7^{(+0,021)}$ ). Точность размеров грубее 13-го квалитета оговаривают в технических требованиях чертежа, например «Неуказанные предельные отклонения размеров: валов  $h14$ , отверстий  $H14$ , линейных  $\pm IT14/2$ ».

**Точность формы** определяется отклонениями от заданной геометрической формы. ГОСТ 24643—81 устанавливает отклонения двух форм поверхностей: цилиндрических и плоских. Количество отклонения формы оценивают наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до поверхности (профиля), прилегающей к ней по нормали.

**Допуск формы** — наибольшее допустимое значение отклонения формы. ГОСТ 24643—81 устанавливает три уровня относительной точности в зависимости от соотношения между допуском размера и допуском формы и расположения: А — нормальная, В — повышенная, С — высокая. Соответственно допуск формы и расположения составляет 60; 40 и 25 % от допуска на размер, а для отклонений формы цилиндрических поверхностей — 30; 20 и 12 %. Если точность формы поверхности на чертеже не оговаривается, допуск формы должен находиться в пределах допуска на размер  $T$ .

Отклонения формы плоских и цилиндрических поверхностей представлены на рис. 1.1.

**Точность расположения** определяется отклонениями расположения поверхностей и осей. При оценке отклонений расположения исключают из рассмотрения отклонения формы рассматриваемых элементов, для чего реальные поверхности (их оси, плоскости симметрии и центры) заменяют соответственно прилегающими поверхностями.

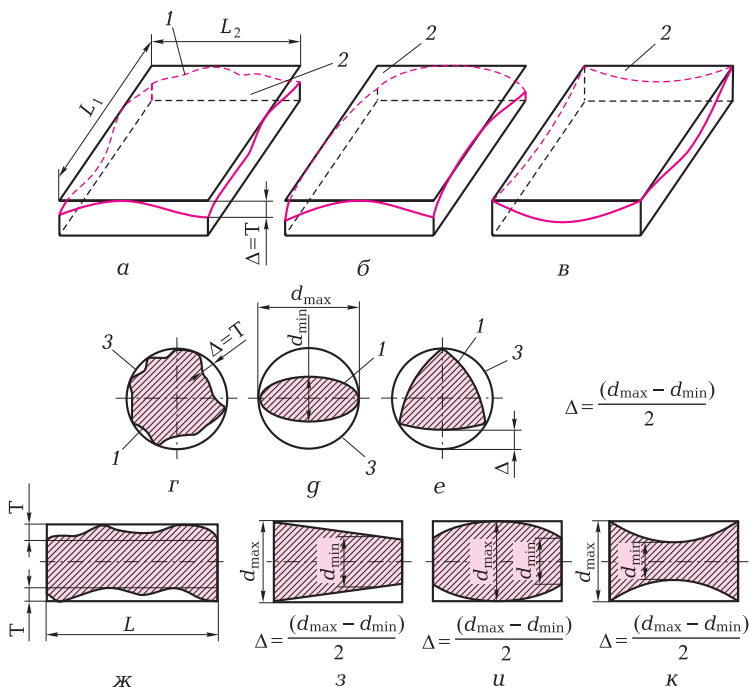


Рис. 1.1. Отклонения форм плоских и цилиндрических поверхностей:  
*a* — реальный профиль; *б* — выпуклость; *в* — вогнутость; *г* — некруглость; *д* — овальность; *е* — огранка; *ж* — отклонение от прямолинейности образующей цилиндра; *з* — конусность; *и* — бочкообразность; *к* — седлообразность; *1* — реальный профиль; *2* — прилегающая плоскость; *3* — прилегающая окружность; *d*, *L* — размеры деталей; *T* — допуск на размер;  $\Delta$  — величина погрешности формы

**Допуск расположения** — предельное значение, ограничивающее допустимое отклонение расположения.

К погрешностям расположения относят отклонения от параллельности и перпендикулярности поверхностей и осей; от соосности цилиндрических поверхностей; от симметричности; позиционное отклонение; отклонение от пересечения осей; радиальное и торцевое биения поверхностей.

*Отклонение от параллельности поверхностей* (рис. 1.2, *a*) — угол между плоскостями, выраженный разностью наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями в пределах длины нормируемого участка.

*Отклонение от перпендикулярности поверхностей* — отклонение от прямого угла ( $90^\circ$ ) между поверхностями, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка (рис. 1.2, *б*).

*Отклонение от соосности цилиндрических поверхностей (эксцентриситет)* — наибольшее расстояние между осями вращения двух или нескольких поверхностей вращения (рис. 1.2, в).

*Отклонение от симметричности* — наибольшее расстояние между плоскостями (осями) симметрии рассматриваемого и базового элементов в пределах длины нормируемого участка (рис. 1.2, г).

*Позиционное отклонение* — наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его оси, центра или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка (рис. 1.2, г).

*Отклонение от пересечения осей* — наименьшее расстояние между номинально пересекающимися осями (рис. 1.2, е).

*Радиальное биение* цилиндрической поверхности — разность наибольшего и наименьшего расстояний реального профиля от

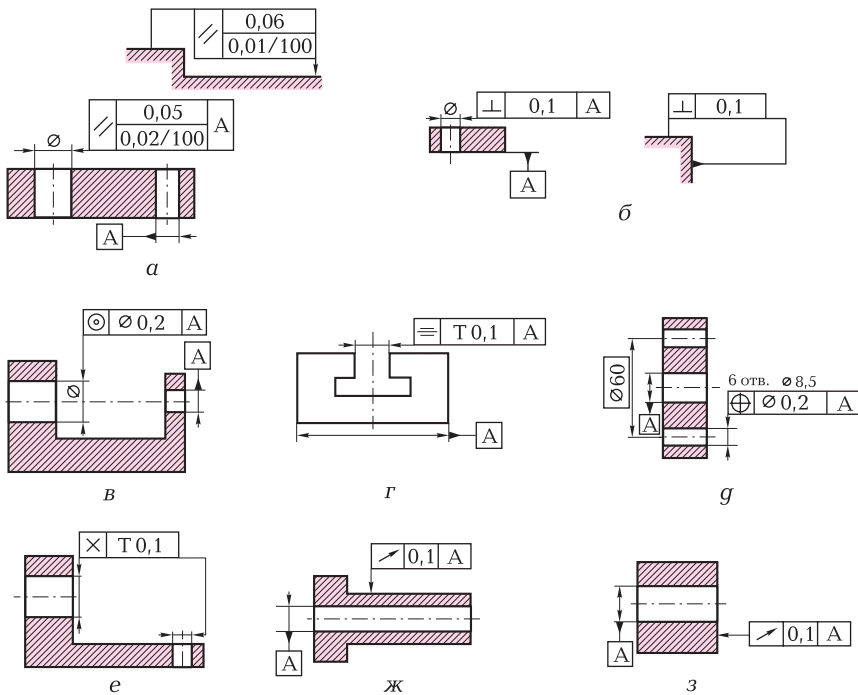


Рис. 1.2. Отклонения расположения поверхностей:

а — от параллельности; б — от перпендикулярности; в — от соосности; г — от симметричности; д — позиционное; е — от пересечения осей; ж — радиальное биение; з — торцевое биение

базовой оси поверхности А в сечении, перпендикулярном этой оси (рис. 1.2, ж). Радиальное биение — результат совместного влияния отклонения профиля рассматриваемого сечения от круглости и отклонения его центра от базовой оси; измеряется в нескольких точках по окружности.

*Торцевое биение* — разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси поверхности А (рис. 1.2, з). Обычно торцевое биение по окружности измеряется на крайних точках торца.

Виды допусков формы или расположения поверхностей указывают на чертеже условными знаками, приведенными в табл. 1.1.

Пример простановки условных знаков на чертеже детали показан на рис. 1.3.

Таблица 1.1. Допуски формы и расположения поверхностей		
Группа допуска	Допуск	Условное обозначение
Допуск формы	Прямолинейности	
	Плоскостности	
	Круглости	
	Цилиндричности	
	Профиля продольного сечения	
Допуск расположения	Параллельности	
	Перпендикулярности	
	Наклона	
	Соосности	
	Симметричности	
	Позиционный	



Группа допуска	Допуск	Условное обозначение
	Пересечения осей	✕
Суммарный допуск формы и расположения	Радиального и торцевого биения и биения в заданном направлении	
	Полного радиального и торцевого биения	
	Формы заданного профиля	
	Формы заданной поверхности	

### Точность механической обработки и методы ее обеспечения.

Под точностью обработки понимают степень соответствия размеров, формы и расположения поверхностей обработанной детали техническим требованиям чертежа. Если все параметры детали находятся в пределах указанных на чертеже допусков, деталь считается годной для сборки и дальнейшей работы.

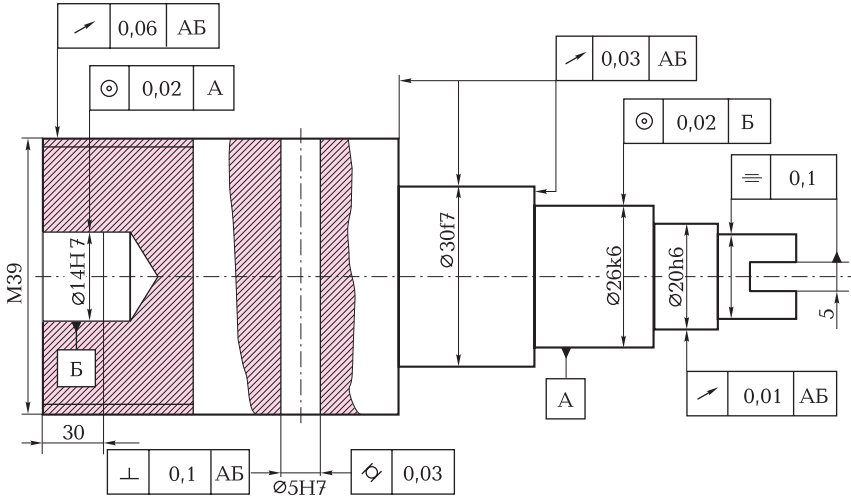


Рис. 1.3. Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей на детали типа «вал»

Существует два метода обеспечения заданной точности обработки.

При *методе индивидуального получения размера* точность обработки обеспечивается выверкой положения заготовки на станке и настройкой инструмента на заданный размер по нанесенным при разметке рискам на заготовку или по лимбу с использованием пробного прохода инструмента и соответствующим измерением. Этот метод характерен для мелкосерийного и единичного производства.

*Метод автоматического получения размеров* применяют, когда заготовки обрабатывают на станке в приспособлениях. При этом вся партия заготовок обрабатывается инструментом, предварительно настроенным на заданный размер. Этот метод характерен для серийного и массового производства.

На точность обработки влияет множество факторов: погрешность установки заготовки на станке; погрешности, обусловленные упругими отжатиями технологической системы станок — приспособление — инструмент — заготовка под действием сил резания; погрешности, вызванные неточностью изготовления и износом режущего инструмента; погрешности установки инструмента на заданный размер; погрешности станка и износ его элементов; погрешности, вызванные температурными деформациями технологической системы под воздействием теплоты, выделяемой при обработке; деформации заготовки вследствие перераспределения внутренних напряжений.

Погрешность установки заготовки на станке при обработке в приспособлениях зависит от выбора установочных технологических баз (поверхностей, линий, точек), обеспечивающих определенное положение заготовки на станке, сохраняемое в процессе обработки.

Каждая установочная база заготовки (рис. 1.4) контактирует с установочными элементами, рассматриваемыми как жесткие опорные точки, лишаящие заготовку соответствующего числа степеней свободы. Для повышения точности обработки выдерживаемые размеры следует проставлять от установочных баз. Точность обработки зависит также от точности изготовления и установки приспособления на станке, которая со временем снижается из-за износа его элементов.

При обработке без использования приспособлений точность установки заготовок зависит от точности выверки ее положения на станке, которая обусловлена методами и средствами контроля, а также квалификацией рабочего. Для обеспечения стабильного

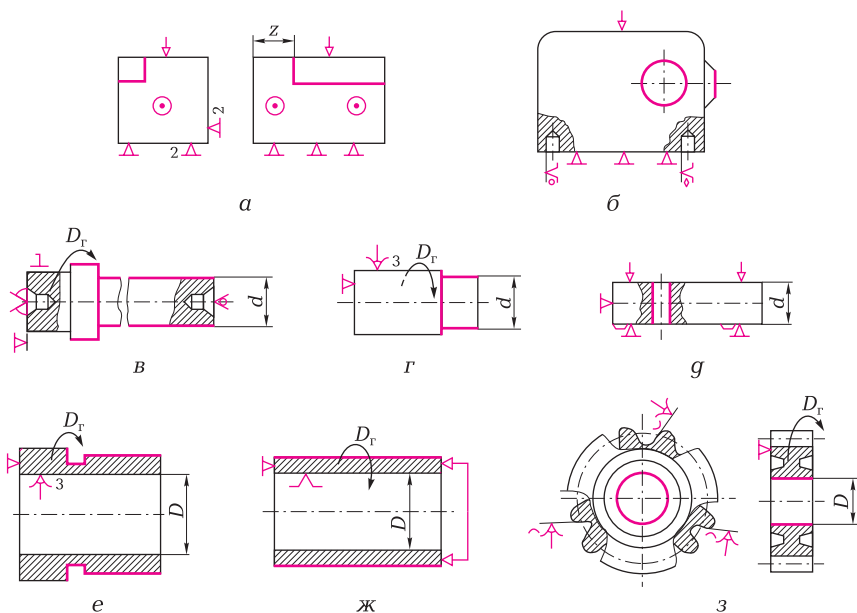


Рис. 1.4. Примеры установочных баз заготовок:

*а* — по трем взаимно-перпендикулярным плоскостям; *б* — по плоскости и двум перпендикулярным ей отверстиям; *в* — по двум центровым отверстиям и торцу; *г*, *д* — соответственно по наружной цилиндрической поверхности и перпендикулярному ей торцу в трехлапчатом патроне и призмах; *е*, *ж* — соответственно по внутренней цилиндрической поверхности и перпендикулярному ей торцу в трехлапчатом патроне и на оправке; *з* — по зубчатой поверхности и перпендикулярному ей торцу; *d*, *D* — параметры баз;  $D_r$  — главное движение резания

положения заготовки в процессе обработки ее необходимо закрепить. Под действием сил зажима происходит деформация заготовки, которая также вносит свою погрешность в точность обработки.

Технологическая система станок—приспособление—инструмент—заготовка не является абсолютно жесткой. Жесткость различных узлов станка может отличаться в 1,5—2 раза (например, жесткость шпинделя и центра задней бабки). Сама заготовка также имеет различную жесткость в разных сечениях. Все это приводит к тому, что под действием сил и моментов резания элементы технологической системы изменяют свое относительное пространственное положение из-за наличия стыков и зазоров между элементами системы и их упругих деформаций. Колебания силы резания и неравномерная жесткость заготовки в раз-

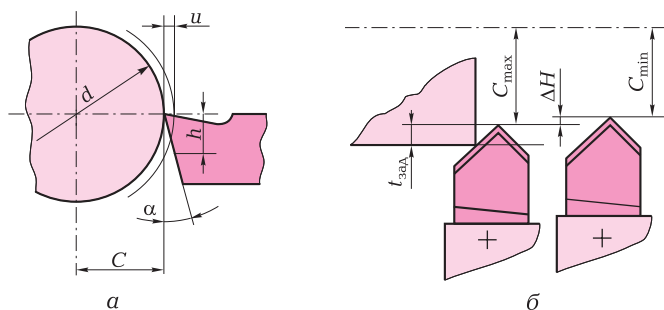


Рис. 1.5. Погрешности механической обработки заготовки:

*a* — от размерного износа инструмента: *d* — диаметр детали; *C* — настроечный размер инструмента; *h* — износ по задней грани резца;  $\alpha$  — задний угол резца; *u* — размерный износ резца; *b* — от погрешности настройки режущего инструмента на заданный размер:  $C_{\max}$ ,  $C_{\min}$  — максимальный и минимальный настроечные размеры;  $t_{\text{зад}}$  — заданная глубина резания;  $\Delta H$  — погрешность настройки резца

ных сечениях приводят к погрешности размеров в партии деталей и погрешности формы обрабатываемой поверхности. Для уменьшения этих погрешностей следует стабилизировать силу резания в процессе обработки, повышать жесткость технологической системы и выравнивать жесткость заготовки в различных сечениях. Например, при обработке длинных нежестких валов применяют дополнительные опоры — подвижные и неподвижные люнеты.

Погрешности, вызванные неточностью изготовления режущего инструмента, определяют погрешности обработки, а его износ сказывается на ее точности. При этом необходимо учитывать только износ инструмента, влияющий на размер обработки, т. е. размерный износ.

На рис. 1.5, *a* показано, как износ по задней грани резца увеличивает настроечный размер *C*. При обработке партии деталей это увеличивает и их диаметр *d*, а при обработке длинных валов приращение размера создает погрешность формы — конусность. Кроме того, затупление инструмента повышает силу резания, что увеличивает упругие отжатия технологической системы и тем самым еще больше снижает точность обработки. Уменьшить влияние размерного износа можно с помощью устройств активного контроля, измеряющих заготовку в процессе обработки. По достижении верхнего предела поля допуска подается команда на подналадку режущего инструмента. С этой же целью станок

оснащают системами адаптивного управления процессом обработки.

Погрешности при установке режущего инструмента на заданный размер обусловлены тем, что при смене затупившегося инструмента новый инструмент невозможно установить в точно такое же положение (рис. 1.5, б) из-за погрешностей измерения, регулировки, изготовления эталона для настройки и т.д.

Неточность изготовления самого станка, регламентированная стандартом и указанная в его паспорте, и износ его элементов в процессе работы вызывают погрешности формы при обработке поверхностей заготовки. Так, непараллельность осей центров (или их несоосность) направляющим токарного станка в горизонтальной плоскости приводит к образованию конусности обрабатываемой поверхности вала, а в вертикальной плоскости — гиперболической поверхности. Несоосность переднего и заднего центров при обработке за два установка ступенчатого вала приводит к образованию несоосности его ступеней и т.д.

Вследствие выделения большого количества теплоты при механической обработке изменяется температурный режим технологической системы, что вызывает дополнительные линейные и объемные деформации заготовки, инструмента и элементов станка. Для уменьшения тепловых деформаций, а следовательно, погрешностей обработки применяют смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ); увеличивают скорость резания, так как при этом большая часть теплоты передается стружке; особо точные детали обрабатывают в термостатных отделениях и цехах и т.п. Влияние температурного фактора можно также устранить, применяя средства активного контроля или системы адаптивного управления процессом обработки.

*Внутренними (остаточными)* называют напряжения, которые существуют в детали при отсутствии внешних нагрузок и находятся в состоянии равновесия. При механической обработке, когда с поверхности заготовки удаляется часть металла, это равновесие нарушается и приводит к деформации заготовки до тех пор, пока внутренние напряжения не придут к новому равновесному состоянию.

Неуравновешенность внутренних напряжений возникает:

- в результате неравномерного нагрева или охлаждения технологической системы;
- при наличии фазовых или структурных превращений в материале заготовки;
- в результате пластической деформации заготовки при наклепе.

Одновременное воздействие всех этих причин вызывает образование высоких напряжений, их сложное распределение в теле заготовки, что может привести к появлению трещин.

Для уменьшения внутренних напряжений заготовки подвергают термической обработке: литые из серого чугуна — старению; стальные (литые, кованные, сварные) — отжигу; в процессе механической обработки — стабилизирующему отпуску, особенно после тех операций, в процессе которых выделяется большое количество теплоты.

Точность обработки оценивают расчетно-аналитическим методом с учетом возникающих погрешностей обработки либо с помощью статистических методов исследования.

### 1.3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Качество поверхности детали (заготовки)** — это совокупность свойств, определяющих состояние ее поверхностного слоя, характеризующее шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

**Шероховатость поверхности** — совокупность неровностей с относительно малыми шагами в пределах базовой длины.

**Волнистость поверхности** — совокупность периодически чередующихся неровностей, шаг которых превышает базовую длину при измерении шероховатости.

Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностью формы поверхности. Для шероховатости характерно отношение шага неровностей к их высоте менее 50, для волнистости — 50... 1 000, для погрешностей формы — свыше 1 000.

**Физико-механические свойства поверхностного слоя** характеризуются твердостью, структурными, фазовыми превращениями и состоянием кристаллической решетки материала, величиной и знаком остаточных напряжений.

Физико-механические свойства в поверхностных слоях детали и заготовки всегда отличаются от свойств в их сердцевине — основной массе металла, что объясняется особенностями процессов, происходящих при их изготовлении. Например, поковки испытывают силовое воздействие штампов и молотов; условия охлаждения отливок на поверхности отличаются от условий охлаждения в глубине заготовки; воздействие режущего инстру-

мента (силовое и тепловое) также различно на поверхности и в глубине заготовки. Толщина измененного по своим свойствам (дефектного поверхностного) слоя зависит от материала и методов получения заготовки, вида и режимов ее обработки и может изменяться от 1,0...1,5 мм (в заготовках) до 5...15 мкм (после отделочной обработки).

**Параметры, характеризующие качество поверхностного слоя.**

В соответствии с ГОСТ 2789—83 шероховатость поверхности оценивают по шести параметрам:  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ,  $S$ ,  $S_m$  и  $t_p$  (рис. 1.6, а).

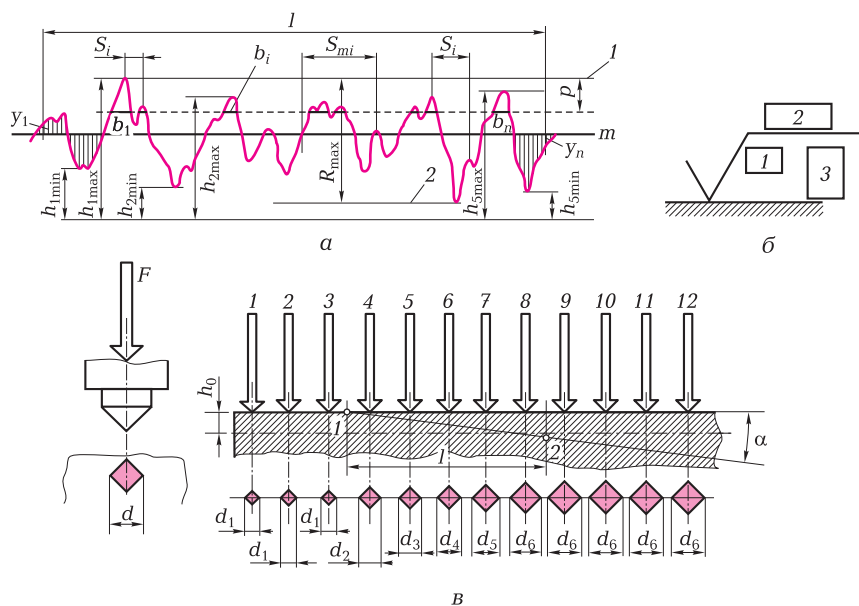


Рис. 1.6. Качество поверхностного слоя:

а — профиль шероховатости и его характеристики: 1 — линия выступов; 2 — линия впадин;  $y_1...y_n$  — расстояние любой точки профиля до средней линии  $m$  профиля;  $h_{1max}...h_{5max}$  — высоты пяти выступов;  $h_{1min}...h_{5min}$  — высоты пяти впадин;  $S_{mi}$  — шаг микронеровностей по средней линии;  $S_i$  — шаг микронеровностей по вершинам выступов;  $R_{max}$  — максимальная высота микронеровностей от линии 1 до линии 2;  $b_1...b_n$  — длины отрезков, отсекаемых на микровыступе профиля на уровне  $p$ ;  $l$  — базовая длина; б — обозначение шероховатости поверхности: 1 — поле для указания направления неровностей; 2 — поле для указания способа обработки поверхности; 3 — поле для указания параметров шероховатости (базовой длины,  $Ra$  или  $Rz$ , относительной опорной длины); в — определение микротвердости поверхности: 1–2 — участок линии среза;  $l$  — длина участка 1–2; 1...12 — диагонали отпечатков;  $d, d_1...d_6$  — размеры отпечатков;  $F$  — сила;  $h_0$  — глубина слоя металла;  $\alpha$  — угол среза

Параметр  $Ra$  называют средним арифметическим отклонением профиля в пределах базовой длины  $l$ :

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $n$  — число измеренных точек профиля на базовой длине;  $y_i$  — абсолютное (без учета алгебраического знака) расстояние от любой точки профиля до средней линии.

Параметр  $Rz$  — высота неровностей по десяти точкам — представляет собой среднюю разность высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины  $l$ , измеренных от линии, параллельной средней:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |h_i|_{\max} - \sum_{i=1}^5 |h_i|_{\min} \right).$$

Средняя линия профиля эквидистантна профилю поверхности и делит измеряемый профиль в пределах базовой длины так, чтобы сумма квадратов расстояний  $y_i$  точек профиля до нее была минимальной. К шаговым параметрам относятся:  $S$  — среднее значение шага местных выступов по базовой длине;  $S_m$  — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии по базовой длине;  $t_p$  — относительная опорная длина профиля, определяемая отношением сумм опорной длины профиля  $b_i$  к базовой длине  $l$ :

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l}.$$

Здесь  $b_i$  — длина отрезка, отсекаемого на микровыступе профиля на уровне  $p$  в пределах базовой длины, а  $p$  — уровень сечения профиля, устанавливают в процентах от  $R_{\max}$  — максимальной высоты микронеровностей и определяют как расстояние между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов.

Параметр  $t_p$  достаточно полно характеризует поверхность контакта двух деталей, образующих сопряжение.

Существует корреляционная связь высотных параметров шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$  и  $R_{\max}$ .

Параметры шероховатости поверхности в соответствии с ГОСТ 2789—83 устанавливают в следующих пределах:  $Ra = 100 \dots 0,008$  мкм;  $R_{\max} = 1\,600 \dots 0,25$  мкм;  $Rz = 1\,600 \dots 0,25$  мкм;  $S_m = 12,5 \dots 0,002$  мкм;  $p = 10 \dots 90$  % от  $R_{\max}$ ;  $l$  — из ряда 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм.



Шероховатость поверхности на чертежах указывают с помощью условных обозначений, показанных на рис. 1.6, б. На поле 1 указывают условное обозначение направлений микронеровностей, значения которых приведены в табл. 1.2. На поле 3 в определенной последовательности указывают базовую длину  $l$ , взятую из стандарта, параметр шероховатости  $Ra$  или  $Rz$  и относительную опорную длину, причем при указании наибольшего значения параметра шероховатости приводят только значения  $Ra$  или  $Rz$ , например  $Ra\ 0,4$  или  $Rz\ 50$ , а после наименьшего значения добавляют обозначение  $\min$ , например  $Rz\ 50\ \min$  или  $Ra\ 3,2\ \min$ . Диапазон па-

**Таблица 1.2. Изображение микронеровностей на чертежах**

Направление микронеровностей	Изображение на чертеже	Пояснение изображения	Условное обозначение направления риска
Параллельное		Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перпендикулярное		Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перекрещивающееся		Перекрещивающиеся в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Произвольное		Произвольно по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Кругообразное		Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности	
Радиальное		Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности	

раметров шероховатости указывают в двух строках, причем в верхней строке размещают значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

Значение базовой длины  $l$  указывают в том случае, если оно для соответствующей шероховатости не предусмотрено стандартом, а направление штрихов обработки — если оно имеет принципиальное значение для условий эксплуатации (коэффициента трения, износостойкости и т. п.).

На поле 2 при необходимости указывают способ обработки поверхности (если он является единственным, позволяющим обеспечить требуемое качество).

Высокой точности обработки всегда соответствуют малые значения микронеровностей поверхности — шероховатости. Такое соответствие обусловлено не только характером и условиями работы детали, но и точностью результатов измерения размеров ее поверхности. Высота микронеровностей не должна превышать 2... 10 % от допуска на выдерживаемый размер.

Шероховатость поверхностей оценивают при контроле и приемке деталей. Различают прямой (количественный) и косвенный (качественный) методы оценки шероховатости поверхностей.

*Прямой метод* оценки шероховатости основан на измерении микронеровностей различными приборами: профилографами, профилометрами и двойными микроскопами. Информацию о размерах микронеровностей при использовании первых двух приборов получают посредством ощупывания проверяемых поверхности иглой с алмазным наконечником. Профилометры позволяют измерять шероховатость в пределах 0,02...5 мкм, а профилографы — в пределах 0,025...80 мкм. При использовании двойных микроскопов оценку шероховатости осуществляют оптическим методом — лучом света. Двойные микроскопы позволяют определять шероховатость в пределах 0,8...80 мкм. В настоящее время все параметры шероховатости можно измерять портативными цифровыми приборами со скоростью измерения 0,5 мм/с.

*Косвенный метод* оценки шероховатости поверхности основан на сопоставлении обрабатываемой поверхности с поверхностью эталона. Сравнение производится визуально или с использованием микроскопа. Максимальная шероховатость, которую можно оценить этим методом, составляет 0,8 мкм.

Анализировать физико-механические свойства поверхностного слоя очень удобно с помощью приборов для определения микротвердости (рис. 1.6, в). Алмазная пирамида внедряется под действием силы  $F = 0,002...2$  Н в исследуемую поверхность, оставляя

при этом на ней отпечаток, диагональ  $d$  которого измеряют под микроскопом. Отпечатки можно оставлять в различных зонах поверхности с учетом их химического состава, фазовых превращений и различных включений в металл поверхностного слоя.

Данный метод используют и для определения глубины деформированного (наклепанного) слоя металла, полученного при различных технологических воздействиях. Этот метод получил название «косых срезов». На исследуемой поверхности делают косой срез (шлиф) под небольшим углом  $\alpha = 30' \dots 2^\circ$ , производят в соответствии со схемой, показанной на рис. 1.6, в, ряд отпечатков и последовательно измеряют их диагонали. Когда отпечатки располагаются на косом срезе, их диагонали возрастают до тех пор, пока твердость металла не стабилизируется — точка 2 (диагонали отпечатков 9... 12 равны между собой). Следовательно, глубина деформированного (наклепанного) слоя, мм:

$$h_0 = l \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $l$  — длина участка 1 — 2, мм;  $\alpha$  — угол скоса, ...°.

**Таблица 1.3. Глубина деформированного слоя при различных методах обработки**

Метод обработки	Глубина слоя, мм	Метод обработки	Глубина слоя, мм
Точение: черновое чистое	0,2...0,5 0,05	Развертывание	0,5
Растачивание: черновое чистовое	0,2...0,5 0,05	Накатывание рез- бы роликом	0,15...0,2
Фрезерование: цилиндрическое торцевое черно- вое торцевое чисто- вое	0,12 0,2...0,5 0,1	Шлифование: незакаленной стали закаленной стали	0,015...0,02 0,02...0,03
Зубофрезерование: черновое чистовое шевингование	0,14 0,12 0,1	Дробеструйный наклеп	0,4... 1,0
Сверление, зенке- рование	0,15	Обкатка роликами	0,05...0,35

В табл. 1.3 приведены средние значения глубины деформированного (наклепанного) слоя при различных методах обработки.

Значение и знак остаточных напряжений поверхностного слоя определяются методом обработки. Растягивающие напряжения возникают при выделении большого количества теплоты в процессе механической обработки (например, при шлифовании поверхностей). При расширении металла в месте обработки соседние слои оказываются сжатыми, а затем после его остывания — растянутыми. В процессе эксплуатации конструкции силовые напряжения детали могут складываться с остаточными растягивающими напряжениями, существенно снижая ее прочностные характеристики. Следовательно, целесообразно выбирать такие режимы и условия шлифования, при которых растягивающие напряжения уменьшаются и создаются напряжения сжатия.

**Влияние качества поверхности деталей на эксплуатационные свойства машин.** Выполнение машиной своего служебного назначения, ее надежность и долговечность во многом определяются качеством поверхностей входящих в нее деталей. От качества поверхностей зависят такие эксплуатационные характеристики, как износостойкость поверхностей трущихся пар, качество (прочность) неподвижных соединений с натягом, усталостная (или циклическая) прочность при воздействии знакопеременных нагрузок, антикоррозионная стойкость, коэффициент трения, гидродинамические свойства поверхности и т. д.

Вследствие шероховатости и волнистости сопрягаемых поверхностей фактическая площадь их контакта оказывается меньше ее номинального значения. При подвижных посадках деталей трущиеся поверхности постепенно изнашиваются. Поскольку контакт поверхностей осуществляется по вершинам микронеровностей, срез (или смятие) вершин особенно интенсивен в начале работы сопряженной пары при приработке. При этом происходит увеличение суммарной площади контакта (несущей поверхности) и устанавливается эксплуатационная шероховатость, оптимальная для данного сопряжения. Последующее (эксплуатационное) изнашивание происходит довольно медленно, пока не возникнет разрушение трущихся поверхностей (аварийный износ).

Поскольку шероховатость поверхностей деталей влияет на величину и время их первичного износа, параметры шероховатости назначают близкими к оптимальным, так как в противном случае первичный износ нарушает посадку соединения и нормальную работу механизма. Оптимальные параметры шероховатости для раз-

**Таблица 1.4. Оптимальные параметры шероховатости деталей различного служебного назначения**

Виды поверхностей деталей	<i>Ra</i> , мкм
Поверхности шейки валов: под подшипники скольжения под подшипники качения под зубчатые, червячные колеса	0,4 0,8 1,6
Тяжелонагруженные поверхности валов	0,2...0,4
Поверхности основных отверстий корпусов: из чугуна из стали	1,0...2,0 0,8...1,6
Направляющие трения скольжения: прецизионных станков тяжелых станков	0,1 1,6
Поверхности стыков герметичных соединений	0,4...0,8
Поверхности плунжерных пар топливных насосов и быстроходных приводов	0,05...0,10
Корродирующие поверхности	0,05...0,10

личных видов поверхностей, приведенные в табл. 1.4, позволяют уменьшить период приработки деталей в 2—2,5 раза.

Для нормальной работы трущихся поверхностей имеет значение не только параметр, но и направление микронеровностей. Поверхности, полученные хонингованием или суперфинишной обработкой, а также пришабранные поверхности имеют перекрещивающиеся микронеровности, создающие карманы для смазочного материала и снижающие силу трения. Поверхности, имеющие высокую твердость, изнашиваются менее интенсивно, поэтому твердость поверхностей повышают с помощью термической обработки — закалки.

Прочность соединений с натягом сильно зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей. При запрессовке микронеровности, срезаясь, уменьшают расчетную силу запрессовки (прочность соединения) за счет уменьшения фактической площади контакта и величины натяга. При большой высоте микронеровностей и малой величине натяга в соединении вместо натяга может возникнуть зазор, поэтому оптимальная шероховатость поверхностей деталей для соединений с натягом, получаемых запрессовкой, составляет не более *Ra* 1,6.

С увеличением высоты микронеровностей возрастает усталостная прочность деталей, работающих в условиях знакопеременных

нагрузок. Впадины микронеровностей по сути являются надрезами на поверхности и в значительной степени влияют на концентрацию напряжений, что может способствовать возникновению микротрещин на поверхности детали и привести к ее разрушению. Такие места концентрации напряжений, как галтели у колеччатых и других тяжело нагруженных валов, обрабатывают с шероховатостью  $Ra$  0,8... 1,6.

На усталостную прочность влияют также величина и знак остаточных напряжений поверхностного слоя детали. Как уже отмечалось ранее, крайне нежелательны растягивающие напряжения поверхностного слоя. Сжимающие напряжения положительно влияют на усталостную прочность и износостойкость, поэтому для увеличения срока службы деталей применяют обкатывание шариками, роликами, чеканку, обработку дробью, щетками, т. е. методы обработки, создающие на поверхности детали остаточные напряжения сжатия.

Поверхности с малой шероховатостью обладают большей антикоррозионной стойкостью, так как впадины микронеровностей способствуют образованию коррозии.

С уменьшением шероховатости поверхностей снижается коэффициент трения деталей, улучшающих их аэро- и гидродинамические свойства, так как уменьшается сопротивление течению газа и жидкости.

Шероховатость поверхности детали оказывает влияние и на герметичность стыков, теплопроводность, отражающую способность поверхностей, создание стабильного разрежения (вакуума). Обеспечение требуемого качества поверхностей удлинит срок службы деталей машин в 2—3 раза.

**Факторы, влияющие на качество поверхности.** Качество поверхностного слоя детали зависит от материала заготовки и его свойств, способа получения заготовки, метода ее обработки, режимов резания, геометрии и состояния режущего инструмента, вида СОЖ, жесткости технологической системы и др.

Заготовки, получаемые прокаткой, имеют на поверхности следы прокатных валков. Высота микронеровностей холоднотянутого проката доходит до 50 мкм, а горячекатаного — до 1,5 мм.

На шероховатость отливок влияют шероховатость стенок литейных форм, размер зерен формовочной смеси и плотность ее набивки. Шероховатость литых заготовок в зависимости от метода ее получения колеблется от 1,5 мм (литье в земляные формы с ручной формовкой) до 10 мкм (литье под давлением). Поверхностный слой заготовок из серого чугуна имеет зону повышенной

твердости (до 400 НВ), а у стальных заготовок — обезуглероженную зону, глубина которой колеблется от 50 до 1 000 мкм.

При механической обработке каждый метод характеризуется диапазоном высот, направлением и формой микронеровностей, которые обусловлены траекторией движения заготовки и инструмента.

Скорость резания  $v$  при обработке вязких металлов оказывает наибольшее влияние на шероховатость. При скорости резания 20...25 м/мин из-за периодического образования нароста металла на режущей кромке резца величина  $Rz$  достигает наибольших значений. Однако с увеличением скорости резания образование нароста практически прекращается,  $Rz$  уменьшается, т.е. скорость резания уже не оказывает существенного влияния на величину шероховатости. Подача  $S$  влияет на шероховатость обрабатываемой поверхности в зависимости от конструкции режущего инструмента, его геометрии и условий обработки. При точении стандартными резцами с углом в плане  $\varphi = 45^\circ$  и с малым радиусом при вершине ( $r < 2$  мм) подача существенно влияет на шероховатость (рис. 1.7, а). Изменение параметра  $Rz$  в этом случае прямо пропорционально изменению подачи.

На качество поверхности также влияют физико-механические свойства и химический состав металла. Наименьшая шероховатость достигается при обработке хрупких, мелкозернистых и однородных материалов (например, бронзы, латуни). Добавление в состав металла серы (автоматная сталь) или свинца также способствует снижению шероховатости. При обработке заготовок из твердой высокоуглеродистой стали получают более низкую шероховатость, чем при обработке мягкой низкоуглеродистой.

Использование СОЖ позволяет уменьшать шероховатость обрабатываемых поверхностей и увеличивать стойкость режущих инструментов. Так, применение минеральных осерненных и растительных масел при соответствующих видах обработки снижает высоту микронеровностей поверхностей на 25...45 % по сравнению с обработкой без СОЖ.

При обработке заготовок резцами на величину микронеровностей заметное влияние оказывают главный  $\varphi$  и вспомогательный  $\varphi_1$  углы в плане, а также радиус  $r$  при вершине резца (рис. 1.7, б). С уменьшением углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$  и увеличением радиуса  $r$  шероховатость обрабатываемой поверхности заметно уменьшается. При обработке инструментом с широкой режущей кромкой (угол  $\varphi_1 = 0$ ) шероховатость обрабатываемой поверхности определяется шероховатостью режущего лезвия на участке  $ab$  (см. рис. 1.7, б),

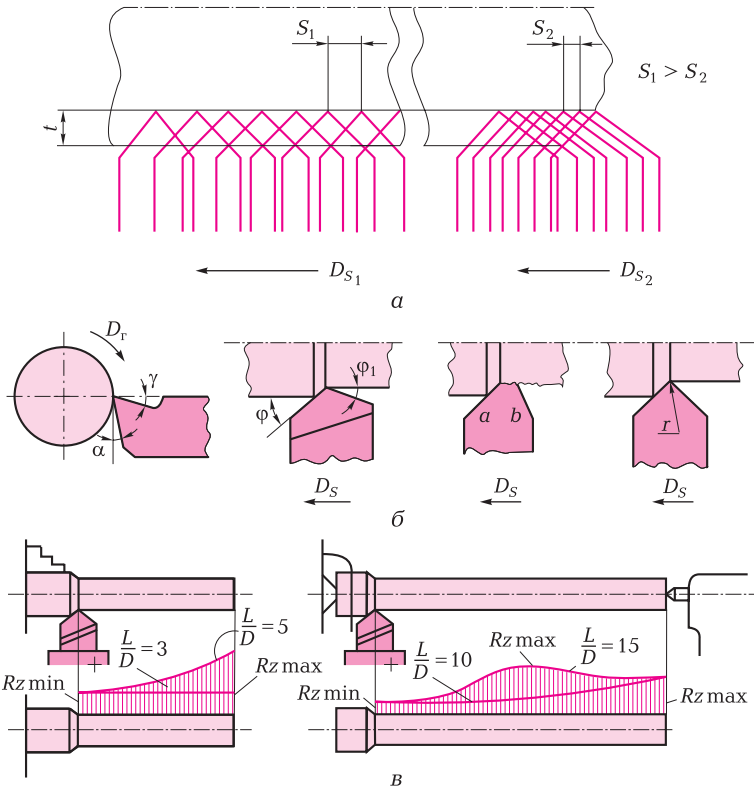


Рис. 1.7. Влияние условий обработки на шероховатость поверхностей:  
*a* — подачи; *б* — геометрических параметров режущего инструмента; *в* — жесткости технологической системы;  $S_1, S_2$  — подачи резца;  $D_{S1}, D_{S2}$  — движения подачи;  $L, D$  — размеры обработки;  $t$  — глубина резания;  $D_r$  — главное движение;  $Rz$  — высота микронеровностей;  $\alpha, \gamma, \phi, \phi_1$  — углы резца

т.е. для получения требуемого качества поверхности шероховатость режущих кромок резца должна быть значительно ниже ( $Ra\ 0,4...0,8$ ).

Снижение жесткости заготовки в различных сечениях ведет к увеличению микронеровностей поверхности, которые, например при обтачивании консольно закрепленного вала, видны невооруженным глазом.

Влияние жесткости технологической системы на шероховатость обрабатываемой поверхности при консольном закреплении заготовки в патроне и закреплении ее в центрах токарного станка показано на рис. 1.7, *в*.