

С.А. Попов

Заточка режущего инструмента

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62-63
ББК 30.6
С11

С11 **С.А. Попов**
Заточка режущего инструмента / С.А. Попов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 318 с.

ISBN 978-5-458-23907-3

В книге изложены основы процесса абразивно-алмазной обработки при заточке и доводке режущего инструмента, рассмотрены геометрические и конструктивные особенности инструмента, методы и технология заточки его, описаны устройство, настройка и эксплуатация универсальных и специальных заточных станков и приспособлений. В книге также приведены необходимые сведения о технике безопасности, техническом нормировании и организации труда при работе на заточных станках. Книга предназначена в качестве учебного пособия для учащихся профессионально-технических училищ и может быть использована рабочими-заточниками машиностроительных заводов для повышения квалификации.

ISBN 978-5-458-23907-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В промышленности используются различные методы и приемы изготовления деталей и изделий путем литья, обработки давлением, сварки, термической обработки, механической обработки и т. д. Часто эти процессы приходится выполнять в определенной последовательности, что позволяет получать детали или изделия соответствующими своему назначению и заданным техническим требованиям.

В машиностроении и приборостроении требуемое качество и точность поверхностей деталей в основном достигаются механической обработкой на металлорежущих станках с помощью режущих инструментов путем последовательного удаления с заготовки излишнего металла в виде стружки.

Для непрерывного или прерывистого срезания стружки необходимо обеспечить внедрение режущих элементов инструмента в обрабатываемый материал и перемещение их относительно обрабатываемой детали.

В процессе резания к режущему инструменту приходится прикладывать значительные силы, способные разрушить обрабатываемый материал путем очень сложной деформации. При этом деформация обрабатываемого материала сопровождается значительным выделением тепла и нагревом режущих элементов инструмента до очень высоких температур (до 600—1000° С и выше). Следовательно, режущие инструменты должны изготавливаться из твердых, прочных и износостойких материалов.

Для обеспечения процесса резания режущим инструментам придается определенная форма с соответствующими геометрическими параметрами режущей части в зависимости от вида, назначения и условий обработки.

К режущим инструментам относятся резцы, фрезы, протяжки, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, гребенки, долбяки, головки, круги, напильники и т. д. Однако каждый из этих инструментов независимо от вида, назначения и размеров имеет много общих геометрических и конструктивных элементов.

Рабочая часть любого режущего инструмента является клином с режущими кромками, образованными передней и задней поверхностями (рис. 1). По передней поверхности сходит стружка, а задняя поверхность в процессе резания обращена к обрабатыва-

емой поверхности. Режущие элементы могут оформляться не только плоскостями, как на рис. 1, но также и более сложными поверхностями: коническими, цилиндрическими и винтовыми с прямолинейной или криволинейной образующей. Режущие кромки, обра-

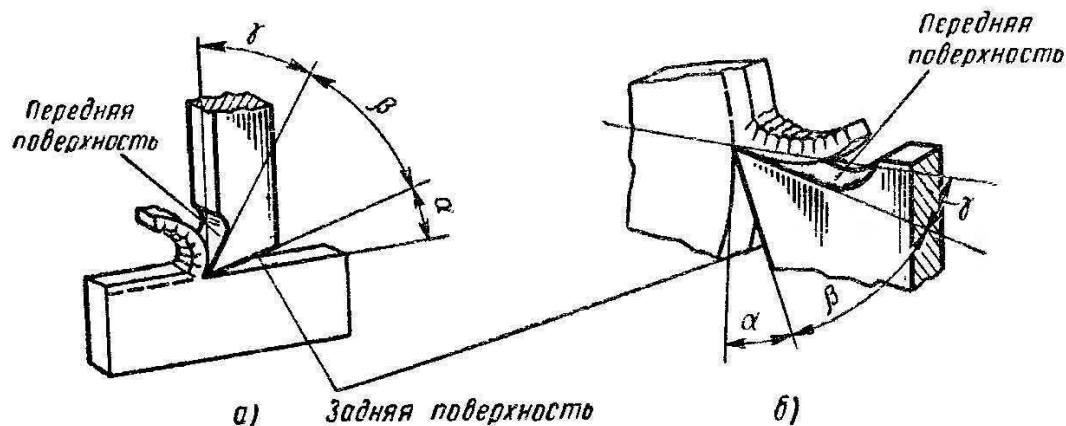


Рис. 1. Рабочая часть режущего инструмента:
а — строгального резца, б — токарного резца

зованные пересечением передней и задней поверхностей, могут быть главными, вспомогательными и переходными.

Основные геометрические элементы инструмента связаны с относительным движением инструмента и обрабатываемой детали в процессе резания на станке (рис. 2).

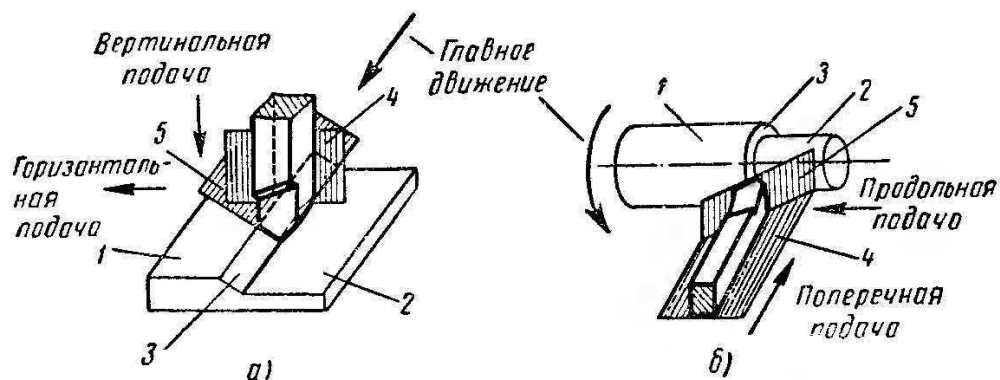


Рис. 2. Важнейшие плоскости и поверхности при строгальной (а) и токарной (б) обработке:

1 — обрабатываемая поверхность, 2 — обработанная поверхность, 3 — поверхность резания, 4 — основная плоскость, 5 — плоскость резания

Главное движение определяет скорость отделения стружки, а движение подачи обеспечивает непрерывное врезание режущей кромки инструмента в новые слои металла.

Например, при обработке на токарном станке заготовка имеет вращательное движение относительно оси центров станка, а резец, закрепленный в суппорте, движется вместе с ним, совершая движение подачи. Перемещение, параллельное оси центров, называется

продольной подачей, а перпендикулярное к оси центров, — поперечной подачей.

Плоскость, параллельная продольному и поперечному перемещениям резца, называется *основной плоскостью* 4. Поверхность заготовки, которая в процессе обработки удаляется, называется *обрабатываемой поверхностью* 1. Поверхность на детали, полученная при резании после снятия припуска в виде стружки, называется *обработанной поверхностью* 2. Поверхность, образуемая на обрабатываемой детали непосредственно режущей кромкой и расположенная между обрабатываемой и обработанной поверхностями, называют *поверхностью резания* 3.

Плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через прямолинейную главную режущую кромку или через какую-либо точку криволинейной режущей кромки, называется *плоскостью резания* 5. В частных случаях плоскость резания может совпадать с поверхностью резания, как это имеет, например, место при обработке строгальными и долбежными резцами (см. рис. 2, а).

Скорость главного движения, т. е. величина перемещения режущей кромки относительно поверхности резания в единицу времени, называется *скоростью резания* и измеряется в м/мин или м/сек.

Учитывая, что за один оборот детали диаметром D в мм при токарной обработке максимальная величина перемещения по поверхности резания равна длине окружности, можно легко подсчитать величину скорости резания V

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин},$$

где n — число оборотов детали в минуту.

Величину перемещения режущей кромки относительно обработанной поверхности в единицу времени или за время одного оборота заготовки в направлении подачи называют *скоростью подачи* или просто *подачей*.

Подача обычно измеряется либо в мм/мин, либо в мм/об. Между подачей S за один оборот и минутной подачей S_m существует следующая зависимость

$$S = \frac{S_m}{n} \text{ мм/об},$$

где n — число оборотов заготовки в минуту.

Величина срезанного слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности, называется *глубиной резания* t и измеряется в мм (рис. 3).

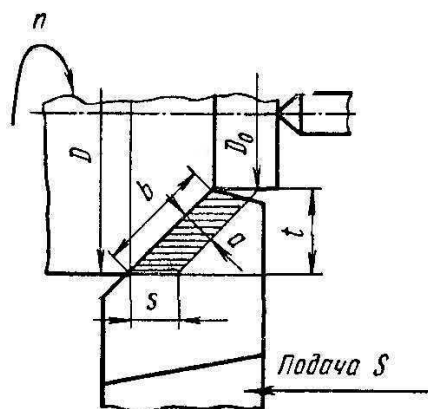


Рис. 3. Поперечное сечение срезаемого слоя при токарной обработке

При обработке методом продольного точения величина глубины резания зависит от диаметра D заготовки и диаметра D_0 обработанной поверхности

$$t = \frac{D - D_0}{2} \text{ мм.}$$

Скорость резания, подача и глубина резания, а также ширина, толщина и площадь поперечного сечения среза являются основными элементами резания.

Ширина срезаемого слоя (среза) представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное вдоль режущей кромки. Ширина срезаемого слоя обозначается буквой b и измеряется в мм (см. рис. 3).

Толщина срезаемого слоя — это расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания, измеренное в направлении, перпендикулярном к режущей кромке. Толщина среза обозначается буквой a и измеряется в мм.

§ 2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Для того чтобы режущая часть инструмента была способна внедряться в обрабатываемый материал и в течение длительного времени срезать с заготовки лишний слой (припуск), материал, из которого изготавливается режущая часть инструмента, должен обладать определенными свойствами.

В первую очередь инструментальный материал должен быть очень твердым и прочным. Эти свойства должны сохраняться и при нагреве материала в процессе резания до высоких температур, т. е. инструментальный материал должен обладать теплоустойчивостью (или красностойкостью).

Режущая часть инструмента должна быть способна сопротивляться истирающему воздействию обрабатываемого материала в течение продолжительного времени в условиях высоких давлений и нагрева, т. е. инструментальный материал должен обладать высокой износостойкостью.

Инструментальные материалы должны также обладать способностью обрабатываться при первоначальном изготовлении режущих инструментов и затачиваться в процессе их эксплуатации.

Все эти свойства зависят от химического состава, структурного состояния и физико-механических свойств инструментальных материалов.

Современные режущие инструменты изготавливаются из углеродистых и легированных инструментальных сталей, быстрорежущих инструментальных сталей, твердых сплавов, минералокерамики, алмазов, абразивных материалов.

Углеродистые и легированные инструментальные стали обладают высокой твердостью, прочностью и износостойкостью, но эти свойства сохраняются лишь при нагреве до невысоких температур (не выше 200—300° С). Поэтому такие материалы применяют для резания сравнительно мягких, малопрочных материалов и обрабатывают с невысокой скоростью резания.

Для получения высокой твердости инструментальные стали имеют повышенное содержание углерода: от 0,7 до 1,4%. Они содержат также сравнительно небольшое количество других элементов, которые называют *легирующими*.

Введение в сталь легирующих элементов придает стали специальные свойства.

В настоящее время в качестве легирующих элементов используются хром, кобальт, никель, молибден, титан, вольфрам, бор, азот, алюминий, ванадий, цирконий, ниобий и др.

В инструментальных сталях количество легирующих элементов сравнительно невелико, обычно до 3—4%.

Углеродистые инструментальные стали в соответствии с процентом содержания в стали углерода делятся на марки: У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. Маркировка этих сталей расшифровывается так: буква У означает «углеродистая», следующая за буквой У цифра указывает содержание в стали углерода, выраженное в десятых долях процента, т. е. 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3%. Буква А в конце маркировки указывает на то, что сталь высококачественная, т. е. содержит мало вредных примесей (серы и фосфора).

Легированные стали имеют также свою маркировку, причем каждый легирующий элемент обозначается определенной буквой:

Хром — Х	Вольфрам — В	Алюминий — Ю
Никель — Н	Кремний — С	Титан — Т
Молибден — М	Ванадий — Ф	Цирконий — Ц
Марганец — Г	Ниобий — Б	Фосфор — П и т. д
Медь — Д	Азот — А	

Содержание легирующего элемента (в процентах) указывается цифрами после буквы; если его содержание меньше или равно (в среднем) 1%, то после буквы цифра не проставляется. Так, хромокремнистая сталь 9ХС содержит 0,95—1,10% С (углерод); 0,95—1,25% Cr (хром); 1,20—1,60% Si (кремний). Иногда в марке содержание углерода не указывается: например, сталь Х12Ф1 содержит 11,0—12,5% хрома, 0,7—0,9% ванадия и 1,2—1,4% углерода.

В производстве режущих инструментов из инструментальных легированных сталей наибольшее применение находят две стали: хромокремнистая 9ХС и хромовольфрамомарганцовистая ХВГ.

Если процент легирующих элементов в стали увеличить: вольфрама до 8,5—19%, хрома до 3,8—4,6%, а также ввести молибден

и ванадий, то можно повысить теплостойкость до 600° С без существенного снижения стойкости. Такие стали называют быстрорежущими.

По сравнению с инструментами из углеродистой стали инструменты из быстрорежущей стали допускают более высокую скорость резания при одинаковой стойкости.

Основной маркой быстрорежущей стали является Р18, которая содержит 17,5—19,0% W, 3,8—4,4% Cr, 0,7—0,8% С и 1,0—1,4% V.

Из этой стали изготавливают большинство режущих инструментов, так как в закаленном состоянии она обладает стабильными высокими режущими свойствами и весьма повышенной износостойкостью. Инструменты из стали Р18 хорошо переносят ударные нагрузки при работе и их легко можно перетачивать по мере затупления и износа.

Многие инструменты делают составными: рабочая часть (принимающая непосредственное участие в резании) выполняется из быстрорежущей стали, а нерабочая (корпус, хвостовая часть и т. д.) — из менее дорогой — конструкционной стали.

Низковольфрамовая быстрорежущая сталь марки Р9 содержит 8,5—10% вольфрама, т. е. в два раза меньше по сравнению со сталью Р18, и 2—2,6% ванадия вместо 1,0—1,4%, что позволило почти выравнять режущие свойства, но привело к ухудшению ее шлифуемости. Поэтому при заточке вследствие повышенного содержания ванадия могут возникать прижоги — поверхностные дефекты, ведущие к понижению твердости. В последнее время широко стали использоваться быстрорежущие стали марок Р12 и Р6М3.

Помимо сталей нормальной производительности, применяются также быстрорежущие стали повышенной производительности.

Ванадиевая сталь Р9Ф5 имеет увеличенное содержание ванадия (до 4,3—5,1%) и углерода (до 1,4—1,5%) и обладает высокой износостойкостью в инструментах с небольшой толщиной стружки и малыми скоростями (развертки, метчики, протяжки и т. п.).

Быстрорежущие стали Р18Ф2 и Р14Ф4 с меньшим количеством ванадия (1,8—2,4% и 3,4—4,1% соответственно) занимают по своим свойствам промежуточное положение.

Кобальтовые быстрорежущие стали повышенной производительности Р9К5, Р9К10, Р18К5Ф2 и Р10К5Ф5 обладают более высокой износостойкостью, красностойкостью и твердостью по сравнению со сталью Р18 и могут применяться для изготовления инструментов, нагреваемых при работе до высоких температур (обработка нержавеющей, жаропрочных сплавов и сталей, а также при обработке легированных сталей твердостью НВ 300÷350). Кобальтовые стали используются при изготовлении фрез, резцов, сверл и других инструментов.

Инструментальные углеродистые и легированные стали после соответствующей термической обработки могут иметь твердость

HRC 58—64. Твердость быстрорежущих сталей обычной производительности HRC 63—65, для быстрорежущих сталей повышенной производительности HRC 64—66.

Инструменты с низкой твердостью очень быстро изнашиваются и становятся непригодными для работы, так как теряют свою форму и размеры. С повышением твердости шлифуемость стали при изготовлении и при переточках ухудшается. Однако чрезмерное повышение твердости может вызывать преждевременное выкрашивание режущих кромок и быть причиной поломки инструмента.

В настоящее время для производства режущих инструментов очень широко используются твердые сплавы. Эти инструментальные материалы содержат чрезвычайно твердые и тугоплавкие металлоподобные вещества, называемые карбидами, нитридами, боридами и силицидами. Они представляют собой соединения углерода, азота, бора, кремния с металлами — вольфрамом, титаном, танталом, ниобием, молибденом. Температура плавления карбидов очень высокая в пределах 2000—3800° С, а по твердости они приближаются к самому твердому веществу — алмазу.

Твердые сплавы изготавливаются по особому технологическому процессу, называемому порошковой металлургией. Порошки карбидов смешиваются с порошками некоторых металлов, из них формируются и прессуются изделия или пластинки, которые затем подвергаются термической обработке — спеканию при температуре ниже температуры плавления исходных материалов.

Такой процесс позволяет получать инструменты и детали сложной формы, с особой структурой. Обычно это очень мелкозернистые соединения частиц карбидов размером 0,5—10 мкм, соединенных цементирующей средой. Цементирующим металлом в твердых сплавах обычно является кобальт.

Использование для изготовления инструментов твердых металлокерамических сплавов позволяет существенно повысить производительность обработки (почти в 2—3 раза) в основном за счет использования более высоких скоростей резания (до 150—200 м/мин вместо 40—50 м/мин для инструментов из быстрорежущих сталей).

Теплостойкость твердых сплавов достигает 750—1100° С, а их твердость находится в пределах HRA 87—92, т. е. выше твердости быстрорежущей стали на 5—8 единиц по HRC.

В СССР стандартизовано три шкалы (В; С; А) измерения твердости на приборах типа Роквелла. При пользовании шкалой С алмазный конус внедряется в поверхность детали под нагрузкой 150 кг, а при определении твердости деталей из твердых сплавов по шкале А нагрузка уменьшается до 60 кг, так как большие нагрузки в этом случае могут повредить алмаз. При определении твердости по шкале В берется стальной шарик и груз в 100 кг. .

Для изготовления режущих инструментов применяются три группы твердых сплавов.

К первой группе относятся вольфрамовые однокарбидные сплавы типа ВК (ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8В), представляющие сплав карбида вольфрама с кобальтом, содержание которого колеблется в пределах от 2 до 8% и выше.

Процентное содержание кобальта указывается в обозначении сплава. Например, сплав ВК6М содержит 6% кобальта и 94% карбида вольфрама. Буква М обозначает, что сплав является мелкозернистым. Крупнозернистые сплавы этой группы имеют дополнительное обозначение — букву В (например, ВК8В).

Сплавы типа ВК в основном применяются для обработки чугуна и неметаллических материалов.

Ко второй группе относятся двухкарбидные титановольфрамовые сплавы типа ТК (Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, Т5К12В), представляющие соединения карбидов вольфрама и титана, цементированных кобальтом. Эти сплавы менее прочны, чем сплавы типа ВК, но они имеют более высокую износостойкость при обработке деталей из различных видов стали.

В обозначении сплавов этой группы цифра, следующая после буквы Т, обозначает примерное содержание в сплаве карбида титана, а цифра после буквы К — содержание кобальта. Например, сплав Т15К6 содержит 15% карбида титана, 6% кобальта, а остальные 79% карбида вольфрама.

Сплавы третьей группы состоят из зерен карбида титана, карбида тантала, карбида вольфрама, цементированных кобальтом, и называются титанотанталовольфрамовыми твердыми сплавами типа ТТК (ТТ7К12, ТТ7К15). Эти сплавы в основном также применяются для обработки резанием сталей.

Сплав ТТ7К12 содержит 12% кобальта, 3% карбида тантала, 4% карбида титана и 78% карбида вольфрама.

Твердые сплавы для режущих инструментов применяются в виде стандартных пластинок определенных форм и размеров. Пластинки к корпусу или державке инструмента могут прикрепляться механически или посредством напайки.

Некоторые виды инструментов (прорезные и отрезные фрезы, сверла, фасонные резцы, фрезы канавочные, шлицевые, пальцевые, червячные) могут изготавливаться и монолитными, т. е. целиком из твердого сплава.

Твердые сплавы, хотя и обладают высокой теплостойкостью, очень чувствительны к резким колебаниям температуры, которые возможны как в процессе резания, так и при изготовлении инструмента (припайка, шлифование, заточка и т. п.).

При неправильном проведении этих процессов на твердом сплаве появляются трещины, которые могут быть как глубокими, так и поверхностными с незначительной глубиной проникновения. Титановольфрамокарбидные сплавы типа ТК более чувствительны к появлению трещин, чем вольфрамокарбидные сплавы типа ВК.

Теплопроводность сплавов типа ТК в 2—3 раза меньше теплопроводности сплавов типа ВК. Теплоемкость твердых сплавов сравнительно мала и в 2—2,5 раза меньше теплоемкости быстрорежущей стали. Коэффициент линейного расширения твердых сплавов типа ТК почти в 2 раза меньше, чем для углеродистой стали, из которой изготавливаются державки и корпуса. Поэтому из-за разницы в значениях коэффициентов линейного расширения пластинок твердого сплава и стальной державки при напайке могут возникать дополнительные напряжения, следствием которых является образование трещин, отслаивание пластинок.

С повышением в сплавах ТК содержания карбидов титана склонность к появлению трещин значительно возрастает.

Твердые сплавы обладают малой пластичностью и могут успешно работать только при постоянных нагрузках. При переменных нагрузках и вибрациях твердые сплавы выкрашиваются. Пластичность твердых сплавов уменьшается с уменьшением содержания в сплаве кобальта, однако их режущие свойства повышаются.

Твердые сплавы стремятся заменить более дешевыми минералокерамическими материалами, которые получают из глинозема (окиси алюминия Al_2O_3). Инструментальные минералокерамические материалы (например, керамика марки ЦМ-332) имеют достаточную прочность, высокую твердость (HRA 89—95) и повышенную теплостойкость (до 1100—1200° С). Их высокая износостойкость позволяет производить резание с очень высокими скоростями при весьма малом износе инструмента.

Однако минералокерамика обладает низкой ударной вязкостью, малой пластичностью и большой хрупкостью, поэтому применение минералокерамики в настоящее время ограничивается только операциями чистовой и получистовой обработки с равномерным припуском и на станках достаточно высокой жесткости.

Алмаз как инструментальный материал известен очень давно. Твердость алмаза является наиболее высокой из всех твердых тел, а его износостойкость при обработке некоторых материалов в сотни и тысячи раз превосходит износостойкость обычных абразивных материалов и твердых сплавов.

Алмазы могут использоваться в виде монокристалльного и многокристалльного инструмента. Для монокристалльного инструмента применяются природные алмазы, а для многокристалльного могут использоваться синтетические и природные алмазы. В последнее время применение алмазов в нашей стране резко возросло, так как были открыты богатейшие месторождения природных алмазов в Якутии и организовано промышленное производство синтетических алмазов.

Инструменты, оснащенные кристаллами алмаза (резцы, сверла и т. п.), используются для обработки цветных металлов, пластмасс, стекла и других неметаллических материалов. Сравнительно большое количество природных алмазов необходимо для изготовления

алмазных правящих инструментов, обеспечивающих восстановление формы и режущих свойств рабочей поверхности абразивных кругов.

Размеры синтетических алмазов пока сравнительно малы (менее 0,5 мм, хотя получены и более крупные кристаллы диаметром до 2—3 мм), они используются преимущественно в качестве алмазно-абразивного инструмента. Основные свойства и виды абразивных материалов будут рассмотрены в главе II.

§ 3. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

При изготовлении деталей стремятся выдержать все параметры в соответствии с рабочим чертежом. Однако абсолютно точно изготовить деталь невозможно, так как в результате обработки могут возникнуть различные погрешности. Степень соответствия параметров изготавливаемой детали заданным параметрам называется *точностью* детали.

Различают следующие характеристики точности: точность размеров детали, точность геометрической формы обработанной поверхности, точность по микрогеометрии (шероховатости поверхности), точность по расположению поверхности относительно других поверхностей деталей.

Действительный размер детали можно получить путем измерения ее после обработки. Сопоставления действительного размера с заданным позволяют численно выразить точность обработки по размеру. Заданный размер выражают не одним каким-либо числом, а двумя его допустимыми предельными размерами, разность между которыми называется *допуском размера*. Чем выше точность детали, тем меньше допуски на размеры.

Под *точностью формы* поверхности понимается степень ее соответствия геометрически правильной поверхности.

Например, для цилиндрической поверхности рассматривают отклонения профиля в двух сечениях: поперечном (перпендикулярном оси) и продольном и сравнивают профили либо с окружностью, либо с прямой линией.

Предельные допустимые отклонения формы поверхностей приведены в ГОСТ 10356—63.

В поперечном сечении наибольшее расстояние от точек реального профиля детали до прилегающей к нему окружности называется *некруглостью* (рис. 4). Основными видами некруглости являются *овальность* и *огранка* (рис. 4, б, в).

В продольном сечении цилиндрической поверхности основными видами погрешностей являются *конусообразность*, *бочкообразность*, *седлообразность* и *изогнутость* (рис. 4, г, д, е, ж).

Для плоских поверхностей погрешностями формы являются *непрямолинейность* и *неплоскостность*.