Лекция **2 ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

**2.1. Основные понятия теории резания**

Сущность технологии изготовления деталей машин состоит в последовательном использовании различных технологических способов воздействия на обрабатываемую заготовку для придания ей необходимой формы и размеров с указанной точностью. Одним из таких способов является *механическая обработка* заготовок *резанием* на металлорежущих станках.

*Обработка резанием* (рис. 2.1) заключается в проникновении лезвия инструмента с режущей кромкой *3* в материал заготовки *2* с последующим отделением определенного слоя материала в виде стружки *4.* Лезвие инструмента *1* представляет собой клинообразный элемент.

На рабочей части инструмента может располагаться одно или несколько лезвий (клиньев) определенной формы. *Режущий инструмент* с заданным числом (одно, два, три и т.д.) лезвий установленной формы называют лезвийным инструментом, а обработку таким инструментом — лезвийной обработкой (рис. 2.2).

Слой материала заготовки, деформированный и отделенный в результате обработки резанием, называется *стружкой.* Обработка резанием заключается в срезании с обрабатываемой заготовки некоторой массы металла, специально оставленной на обработку и называемой припуском. Припуск может удаляться одновременно с нескольких поверхностей заготовки или последовательно с каждой обрабатываемой поверхности. После срезания с заготовки всего припуска, оставленного на обработку, исходная заготовка прекращает свое существование и превращается в готовую деталь.

Срезанная с заготовки стружка является побочным продуктом (отходом) обработки материалов резанием. Пластическое деформирование и разрушение материала припуска с превращением его в стружку протекает при резании в специфических условиях, характерных только для обработки материалов резанием. Таким образом, типичным признаком обработки резанием является стружка.

 

Рис. 2.1. Схема обработки резанием:

*1* — лезвие инструмента; *2* — заготовка; *3 —* режущая кромка; *4* — стружка; *Аγ* — передняя поверхность лезвия инструмента; *Аα —* задняя поверхность лезвия инструмента; *υ —* скорость резания

Рис. 2.2. Процессы обработки резанием:

*а —* точение; *б* — фрезерование; 1 — обрабатываемая поверхность; *2* — поверхность резания; *3 —* обработанная поверхность; *Dr.* — направление движения резания; *Ds —* направление движения подачи; *υ* — скорость резания; *t —* глубина резания; *α* — задний угол; γ — передний угол

Все способы и виды обработки, основанные на срезании при­пуска и превращении материала в стружку и подчиняющиеся общим закономерностям, можно объединить термином *«резание материалов».* Способы разделения материалов на части, при кото­рых стружка не образуется (например, разрезка ножницами), к обработке резанием не относятся. Условия деформирования обрабатываемого материала и образования новых поверхностей при разрезке ножницами не подчиняются закономерностям теории резания материалов.

**2.2. Элементы резания**

Заготовки, предназначенные для изготовления деталей машин, имеют исходные поверхности. В процессе обработки резанием с заготовки слой за слоем срезается припуск на обработку. За первый проход режущего инструмента вместе с поверхностным слоем с заготовки срезается и ее исходная поверхность. При этом на заготовке образуется новая поверхность. За второй проход того же или другого режущего инструмента с заготовки срезается второй слой материала и вместе с ним поверхность, образованная во время первого прохода инструмента. После второго прохода на заготовке опять образуется новая поверхность.

Поверхности заготовок, срезаемые за каждый проход инструмента, называют *обрабатываемыми поверхностями 1* (см. рис. 2.2), а поверхности заготовок, вновь образуемые во время очередного прохода инструмента, — *обработанными поверхностями 3.* Проме­жуточную поверхность, временно существующую в процессе ре­зания между обрабатываемой и обработанной поверхностями, принято называть *поверхностью резания 2.*

*Глубина резания.* Чтобы срезать слой материала, оставленный на заготовке как припуск на обработку, глубина проникновения лезвий инструмента в материал должна быть равна припуску. В этом случае припуск срезается за один проход инструмента. Если припуск большой, то его срезают за два прохода и более. Глубину проникновения лезвий инструмента в материал заготовки во время каждого прохода называют *глубиной резания.* Эту величину обозначают буквой *t* и измеряют в миллиметрах.

В большинстве случаев при обработке материалов резанием глубина резания *t* определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеряемое в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности (см. рис. 2.2). Например, при точении глубина резания *t=(D-d)/2,* где при наружной обточке *D* и *d* — соответственно диаметры обрабатываемой и обработанной поверхностей, а при внутренней обработке, наоборот, *D* и *d —* соответственно диаметры обработанной и обрабатываемой поверхностей.

*Главное движение резания и движение подачи.* Процесс резания возможен только при непрерывном относительном перемещении заготовки и режущего инструмента. Эти движения выполняют и сообщают заготовке и инструменту исполнительные механизмы станков. При этом движения могут быть сообщены одновременно, последовательно, а также только одному из элементов — инструменту или заготовке.

Механизмы сообщают исполнительным органам станков только два простейших движения — вращательное и прямолинейное поступательное. Различные сочетания и количественные соотношения этих движений лежат в основе всех видов обработки материалов резанием.

Поступательное или вращательное движение, передаваемое заготовке или инструменту в процессе резания и имеющее наибольшую скорость по сравнению со всеми другими движениями исполнительных органов, называют *главным движением резания* или *главным движением.*

Поступательные или вращательные движения остальных органов станка, также передаваемые заготовке или инструменту, определяют *движение подачи,* необходимое для обеспечения отделения срезаемого с заготовки слоя по всей обрабатываемой поверхности.

В большинстве случаев главное движение резания и движение подачи осуществляются во взаимно-перпендикулярных плоскостях, но в отдельных случаях они происходят и в одной плоскости. Оба движения могут быть непрерывными и прерывистыми. В ряде случаев движение подачи выполняется благодаря конструктивному исполнению инструмента. В этом случае функцию механизма подачи станка выполняют зубья инструмента.

*Скорость резания и скорость подачи.* Главное движение, скорость которого больше скорости подачи, определяет направление и скорость деформаций в материале срезаемого слоя, а следова­тельно, направление схода стружки и ее форму. Скорость главного движения называют *скоростью резания.* Эту величину обозначают буквой *υ* и при лезвийной обработке измеряют в м/мин. Если главное движение является вращательным (точение, фрезерование, сверление), то скорость резания *равна линейной скорости точек заготовки или инструмента, находящихся во взаимодействии.* Ее можно определить по формуле:

*υ = 10-3 πDn,*

где *D —* диаметр обрабатываемой поверхности заготовки или рабочей поверхности инструмента, мм; *п —* частота вращения заготовки или инструмента, об/мин.

Для количественной оценки движения подачи используется отношение расстояний, пройденных точками режущего лезвия в направлении движения подачи, к соответствующему числу циклов (или их долей) главного движения, выражаемое численно *подачей.* Главное движение подачи может выражаться:

• мм/об, если перемещение при подаче соответствует одному обороту инструмента (заготовки), совершающему главное движение резания;

• мм/зуб, если перемещение при подаче соответствует повороту инструмента (например, фрезы) на один угловой шаг его режущих зубьев;

• мм/дв. ход, если перемещение при подаче соответствует одному двойному ходу заготовки или инструмента, или *υ* мм/ход, если ход ординарный.

При выполнении некоторых операций (например, точения) удобно задавать скорость подачи *υ* в мм/мин (перемещение инструмента или заготовки в направлении движения подачи, совершаемое в течение одной минуты). Подачу инструмента или заготовки принято обозначать буквой *S* с индексом, соответствую­щим используемым единицам измерения: *S0* — подача на один оборот; *Sz -* подача на зуб; *S2x —* подача на двойной ход; *Sx -*подача на один ход.

**2.3. Обрабатываемость материалов резанием и режущие свойства инструментов**

Процесс обработки материалов резанием заключается во взаимодействии двух тел — обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. При этом поверхностный слой материала, срезаемый с обрабатываемой заготовки, подвергается сильному пластическому деформированию, в результате чего срезаемый слой в частично или полностью разрушенном состоянии удаляется с заготовки в виде срезанной стружки. На заготовке и на срезаемой стружке в процессе резания непрерывно возникают новые поверхности.

К резанию материалов как к технологическому способу обработки заготовок деталей машин предъявляются следующие основные требования:

• высокое качество и точность обработанных поверхностей;

• высокая производительность труда;

• экономичность.

Выполнение этих требований зависит от комплекса одновременно действующих факторов, которые можно разделить на три основные группы.

К *первой группе* относятся факторы, связанные с физической природой и структурным состоянием материала обрабатываемой заготовки.

*Вторая группа* факторов определяется свойствами материала режущей части инструмента, его конструкцией и качеством изготовления.

*В третью группу* входят факторы, отражающие реальные условия протекания процесса резания.

При изучении процесса резания был установлен ряд взаимосвязанных параметров и характеристик, отражающих различные физические явления, происходящие в процессе взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой, и на протекание которых влияют свойства материала, подвергаемого обработке резанием.

Эти параметры и характеристики объединены общим термином *обрабатываемость материала резанием,* под которым понимается свойство материалов подвергаться обработке резанием. Основные показатели обрабатываемости могут иметь как сравнительный, так и абсолютный характер.

К числу показателей, определяющих сущность обрабатываемости материала резанием, относятся:

• сила резания (момент вращения) обрабатываемого материала, определяемая по сравнению с силой резания эталонного материала (для металлов — это обычно сталь 45) и измеренная при равных режимах резания;

• эффективная мощность, затрачиваемая на резание, по сравнению с эффективной мощностью резания эталонного материала;

• наличие или отсутствие склонности к образованию нароста на поверхности инструмента при равных условиях резания, а также форма нароста;

• качество поверхностей, обработанных резанием при равных и оптимальных режимах, оцениваемое шероховатостью и остаточным напряжением2 в поверхностных слоях изготовленной детали;

• скорость изнашивания инструментального материала по сравнению со скоростью его изнашивания при резании эталонного материала;

• теплота, выделяющаяся при деформации материала срезаемого слоя и при взаимодействии трущихся поверхностей инструмента и заготовки, а также распределение этой теплоты между стружкой, обрабатываемым материалом и инструментом;

• усадка стружки (продольная и поперечная) как мера пластической деформации, необходимой для ее срезания и образования новых поверхностей на заготовке;

• вид, форма и размеры срезанной стружки, определяющие удобство ее отвода, хранения и транспортировки, возможность принудительной завивки и ломания стружки, а также безопасность труда рабочего-станочника;

• энергозатраты на срезание единицы массы стружки.

Количественные оценки перечисленных показателей обрабатываемости конструкционного материала данного химического состава и структурного состояния определяются в зависимости от его твердости, предела прочности и относительного удлинения, коэффициента трения в паре с инструментальным материалом,свойства изнашивать лезвия инструмента, теплопроводности и т.д. В реальных производственных условиях перечисленные свойства материалов из-за отклонений в химическом составе и неоднородности структуры не являются постоянными.

Кроме того, характеристики процесса резания, отражающие взаимосвязанные физические явления в зоне стружкообразования, изменяются в зависимости от режимов резания, прогрессирующего износа инструмента и т. п. На основании этого сопоставление количественных оценок обрабатываемости, например по стойкости инструмента, допустимо лишь при соблюдении равных условий резания, типичных для сравниваемых групп обрабатываемых и инструментальных материалов.

*Под режущими свойствами* инструментов понимается их способность обрабатывать различные материалы резанием. При оценке режущих свойств инструментов используются следующие показатели:

• количество однотипных обработанных ими заготовок;

• *длина* относительного рабочего пути инструмента и заготовки;

• *площадь* обработанной поверхности;

• *объем* материала, срезанного с обработанных заготовок;

• *период* стойкости инструмента и число его переточек;

• *суммарная длина* всех обработанных заготовок.

Режущие свойства инструмента являются функцией комплекса факторов, к числу которых относятся:

• *свойства инструментального материала,* включающие в себя химический состав (марка материала), структурное состояние, твердость, пределы прочности на растяжение, изгиб и сжатие, температуростойкость (красностойкость), износостойкость;

• *конструкция инструментов —* оптимальная форма режущей части, жесткость, точность изготовления;

• *режимы резания —* скорость резания, подача и глубина резания, СОЖ, принятый критерий износа;

• *состояние металлорежущего станка —* жесткость станка и технологической оснастки, виброустойчивость.

Все перечисленные факторы влияют на результат работы режущего инструмента, и поэтому его режущие свойства могут иметь постоянную количественную оценку лишь при постоянстве всего комплекса факторов, что выполнимо только в лабораторных условиях. В реальных производственных условиях перечисленные факторы неодинаковы.

**2.4. Материалы, обрабатываемые резанием**

Материалы, применяемые в машиностроении для изготовления деталей машин и механизмов, приборов, аппаратов, воспринимающих силовую нагрузку, называют *конструкционными материалами.* Они подразделяются на три класса:

• металлы (сплавы на основе железа, никеля, меди, алюминия, магния, титана и других металлов);

• неметаллы (пластические массы, керамика, стекло, резина и т.д.);

• композиционные материалы.

В машиностроении самыми распространенными и традиционно обрабатываемыми резанием являются металлические конструкционные материалы, поэтому в книге будут рассмотрены только *процессы обработки металлов резанием* на металлорежущих станках. Обработке резанием подвергают следующие металлы: чугуны, стали, цветные металлы и их сплавы.

*Чугуном* называют сплав железа с углеродом, кремнием, мар­ганцем и другими элементами, причем содержание углерода составляет 2,14...4,5 %. Обработке резанием наиболее часто подвергают серый, высокопрочный и ковкий чугуны.

Марки *серого чугуна* обозначают буквами СЧ (С — серый, Ч — чугун) и двумя цифрами, означающими предел прочности при растяжении. Например, СЧ 18 — серый чугун, предел прочности при растяжении 180 МПа.

В зависимости от механических свойств различают серые чугуны малой (СЧ 10...СЧ 18) и повышенной (СЧ 20...СЧ 35) прочности. Для изготовления деталей машин чаще применяют чугун марок СЧ 15; СЧ 20; СЧ 30 и реже — чугун марки СЧ35. Твердость серого чугуна НВ 163... 269.

*Высокопрочный чугун* получают введением в жидкий серый чугун магния (0,3... 1%) или его сплава с никелем, медью, алюминием или кремнием. Марки этого чугуна обозначают буквами ВЧ (В — высокопрочный, Ч—чугун) и двумя группами цифр: первая означает предел прочности при растяжении, а вторая — относительное удлинение. Например, ВЧ 45-5 — высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении σв=450 МПа, относительное удлинение δ=5%. Твердость высокопрочного чугуна НВ 156...269.

*Ковкий чугун* отличается высокой вязкостью. Марки этого чугуна обозначают буквами КЧ (К—ковкий, Ч — чугун) и двумя группами цифр, первая означает предел прочности при растяжении, а вторая — относительное удлинение. Например, КЧ 50-4 — ков­кий чугун, предел прочности при растяжении σв = 500 МПа, относительное удлинение δ =4%.

На обрабатываемость литых заготовок из серого чугуна резанием существенно влияет поверхностный слой металла — литейная корка, толщина которой 0,15...0,5 мм, а твердость НВ 285...321. По мере удаления от поверхности твердость чугуна снижается (НВ 187...229).

Скорость резания в зоне литейной корки на 20...30 % меньше скорости резания внутренних слоев металла. Высокотемпературный отжиг чугунных отливок позволяет увеличить скорость резания в 1,5...2 раза.

*Сталью* называют сплав железа с углеродом (до 2 %) и другими элементами. Большое влияние на обрабатываемость стали оказывает ее химический состав. С увеличением содержания углерода повышается механическая прочность стали и, как следствие, возрастает ее сопротивление резанию, но увеличивается шероховатость поверхности. При обработке стали с малым содержанием углерода (0,1... 0,25 %) достигается лучшая шероховатость поверхности. По химическому составу стали подразделяют на углеродистые и легированные.

Марки *углеродистых сталей обыкновенного качества* обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 6 (например, СтЗ). Чем больше цифра в обозначении марки стали, тем выше содержание углерода. Марки углеродистых качественных конструкционных сталей обозначают цифрами (08; 10; 15; 20; 25 и т.д.), которые показывают среднее содержание углерода в стали (в сотых долях процента). Например, содержание углерода в стали 15 около 0,15 %. Предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву) для углеродистых сталей σв=300...700 МПа, он возрастает с увеличением содержания углерода; твердость НВ≤ 230.

Марки конструкционных повышенной и высокой обрабатываемости резанием сталей — *автоматных —* обозначают буквой А (автоматная сталь) и цифрами (содержание углерода в сотых долях процента), например А12; А20; АЗО и А35. Предел прочности этих сталей σв = 600...800 МПа (для холоднотянутой стали) и σв=400... 700 МПа (для горячекатаной стали); твердость НВ 160... 207. Повышенное содержание серы в автоматных сталях обеспечивает необходимое стружкообразование при работе на станках, т. е. они лучше подвергаются обработке, чем углеродистые стали как обыкновенного качества, так и высококачественные.

Марки *легированных сталей* обозначают цифрами и буквами (например, 15Х; 40ХН; 3ОХГС; 20ХНЗА и т.д.). Цифры показывают среднее содержание в стали углерода в сотых долях процента, буквы за цифрами — наличие легирующего элемента (например, Р — бор; Ю — алюминий; С — кремний; Т — титан; Ф — ванадий; X — хром; Г — марганец; Н — никель; М — молибден; В — вольфрам), цифры после букв — содержание легирующего элемента в процентах (целые единицы), буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная. Предел прочности легированных сталей σв = 700...1300 МПа (в зависимости от марки). Повышение содержания некоторых легирующих элементов (таких, как хром, молибден, ванадий, вольфрам, никель) увеличивает прочность и снижает теплопроводность сталей, что приводит к ухудшению их обрабатываемости. Наличие кремния ухудшает обрабатываемость стали из-за образования силикатных абразивных включе­ний. Стали с крупнозернистой структурой обрабатываются режущим инструментом лучше, чем стали с мелкозернистой структурой.

В ряде случаев для улучшения обрабатываемости стальные заготовки подвергают предварительной термической обработке. Твердость после отжига НВ180...270, а после термической обработки HRC 42...55.

Наиболее часто на металлорежущих станках обрабатывают заготовки из следующих цветных металлов: бронзы, латуни и дюралюминия.

*Бронза* — это сплав меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием и другими элементами.

Марки бронзы обозначают буквами Бр, затем — начальными буквами основных элементов, вошедших в сплав, и цифрами, которые показывают среднее содержание этих элементов в процентах. Например, бронза БрОЦСЗ-12-5 содержит в среднем 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца и 80 % меди. Для улучшения обрабатываемости и антифрикционных свойств в состав бронз вводят свинец.

*Латунь —* это сплав меди с цинком. Марки латуни обозначают буквой Л и цифрами, которые показывают среднее содержание меди (в процентах). Например, латунь Л62 содержит 62% меди и 38 % цинка. Для лучшей обрабатываемости в латунь вводят 1...2% свинца (автоматная латунь), а для повышения прочности — алюминий, никель и другие элементы. Например, латунь ЛЖМц59-1-1 содержит 59% меди, 1% железа, 1% марганца и 39 % цинка.

*Дюралюминий* — это деформируемый сплав алюминия с медью (4...5 %), магнием (0,5%), марганцем, кремнием и железом. Обозначение марок дюралюминия (Д1; Д6; Д16 и т.д.) не связано с его химическим составом.

**2.5. Инструментальные материалы**

Для обеспечения работоспособности металлорежущего инструмента необходимо изготовлять его рабочую часть из материала, обладающего комплексом определенных физико-механических свойств (высокими показателями твердости, износостойкости, прочности, теплостойкости и др.). Материалы, отвечающие тре­бованиям этого комплекса и способные осуществлять резание, называются *инструментальными материалами.* Рассмотрим физи­ко-механические свойства инструментальных материалов.

Чтобы внедриться в поверхностные слои обрабатываемой заготовки, режущие лезвия рабочей части инструментов должны быть выполнены из материалов, имеющих высокую *твердость.* Твердость инструментальных материалов может быть природной (т. е. свойственной материалу при его образовании) или достигнута специальной обработкой. Например, инструментальные стали в состоянии поставки с металлургических заводов легко поддаются обработке резанием. После механической обработки, термообработки, шлифования и заточки инструментов из стали их прочность и твердость резко повышаются.

Твердость определяется с помощью различных методов. Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующими чис­ло твердости, и буквами HR с указанием шкалы твердости А, В или С (например, HRC). Твердость термообработанных инструментальных сталей измеряется по шкале С Роквелла и выражается в условных единицах HRC. Наиболее устойчивый режим работы и наименьшая изнашиваемость лезвий инструментов, изготовленных из инструментальных сталей и прошедших термообработку, достигается при твердости HRC 63...64. При меньшей твердости возрастает изнашиваемость лезвий инструмента, а при большей твердости лезвия начинают выкрашиваться из-за чрезмерной хрупкости.

Металлы, имеющие твердость HRC 30...35, удовлетворительно обрабатываются инструментами из термообработанных инструментальных сталей (HRC 63... 64), т.е. при отношении твердостей, при­мерно равном двум. Для обработки термообработанных металлов (HRC 45...55) необходимо использовать инструменты, изготов­ленные только из твердых сплавов. Их твердость измеряется по шкале А Роквелла и имеет значения HRA 87...93. Высокая твердость синтетических инструментальных материалов позволяет использовать их для обработки закаленных сталей.

В процессе резания на рабочую часть инструментов действуют силы резания, достигающие 10 кН и более. Под действием этих сил в материале рабочей части возникают большие напряжения. Чтобы эти напряжения не приводили к разрушению инструмен­та, используемые для его изготовления инструментальные мате­риалы должны иметь достаточно высокую *прочность.*

Среди всех инструментальных материалов наилучшим сочетанием прочностных характеристик обладают инструментальные стали. Благодаря этому рабочая часть инструментов, выполненных из инструментальных сталей, успешно выдерживает сложный характер нагружения и может работать на сжатие, кручение, изгиб и растяжение.

В результате интенсивного выделения теплоты в процессе резания металлов нагреваются лезвия инструмента, причем в наибольшей степени — их поверхности. При температуре нагрева ниже критической (для различных материалов она имеет разные значения) структурное состояние и твердость инструментального материала не изменяются. Если температура нагрева превышает критическую, то в материале происходят структурные изменения и связанное с этим снижение твердости. Критическая температура называется также температурой *красностойкости.* В основе терми­на «красностойкость» лежит физическое свойство металлов при нагреве до 6000С излучать темно-красный свет. Красностойкость – это способность материала сохранять при повышенных темпера­турах высокие твердость и износостойкость. По своей сути крас­ностойкость означает *температуростойкостъ* инструментальных материалов. Температуростойкость различных инструментальных материалов изменяется в широких пределах: 220... 1800°С.

Увеличение работоспособности режущего инструмента может быть достигнуто не только за счет повышения температуростойкости инструментального материала, но и благодаря улучшению условий отвода теплоты, выделяющейся в процессе резания на лезвии инструмента и вызывающей его нагрев до высоких темпе­ратур. Чем большее количество теплоты отводится от лезвия в глубь инструмента, тем ниже температура на его контактных поверхно­стях. *Теплопроводность* инструментальных материалов зависит от их химического состава и температуры нагрева.

Например, присутствие в стали таких легирующих элементов, как вольфрам и ванадий, снижает теплопроводящие свойства ин­струментальных сталей, а легирование их титаном, кобальтом и молибденом, наоборот, заметно повышает.

Значение *коэффициента трения* скольжения материала заготовки по инструментальному материалу зависит от химического состава и физико-механических свойств материалов контактирующих пар, а также от контактных напряжений на трущихся поверхностях и скорости скольжения.

Коэффициент трения связан функциональной зависимостью с силой трения и работой сил трения на пути взаимного скольже­ния инструмента и заготовки, поэтому значение этого коэффициента оказывает влияние на *износостойкость* инструментальных материалов.

Взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом протекает в условиях постоянного (подвижного) контакта. При этом оба тела, образующие пару трения, взаимно изнашиваются.

Материал каждого из взаимодействующих тел обладает:

• свойством истирать материал, с которым он взаимодействует;

• износостойкостью, т. е. способностью материала сопротивляться истирающему действию другого материала.

Изнашивание лезвий инструмента происходит на протяжении всего периода взаимодействия с обрабатываемым материалом. В ре­зультате этого лезвия инструмента теряют некоторую часть своих режущих свойств, изменяется форма рабочих поверхностей инструмента.

Износостойкость не является неизменным свойством инструментальных материалов, она зависит от условий резания.

Современные инструментальные материалы отвечают требованиям, рассмотренным выше. Они подразделяются на следующие группы:

• инструментальные стали;

• твердые сплавы (металлокерамика);

• минералокерамика и керметы;

• синтетические композиции из нитрида бора;

• синтетические алмазы.

*Инструментальные стали* разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

*Углеродистые инструментальные стали* применяют для изготовления инструмента, работающего при малых скоростях резания.

Марки таких сталей обозначают буквой У (углеродистая), затем цифрами, которые показывают содержание в стали углерода (в десятых долях процента), буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная (содержание серы и фосфора не более 0,03 % каждого элемента).

Основными свойствами углеродистых инструментальных сталей являются высокая твердость (HRC 62...65) и низкая температуростойкость.

Из стали марок У9 и У10А изготовляют пилы; из стали марок УН; У11А; У12 — ручные метчики и др.

Температуростойкость сталей марок У10А...У13А 220°С, поэтому инструмент из этих сталей рекомендуется применять при скорости резания 8... 10 м/мин.

*Легированная инструментальная сталь* в зависимости от основных легирующих элементов может быть хромистой (X), хромокремнистой (ХС), вольфрамовой (В), хромовольфрамомарганцевой (ХВГ) и др.

Марки таких сталей обозначают цифрами и буквами (первыми буквами названия легирующих элементов). Первая цифра слева от букв показывает содержание углерода в десятых долях процента (если содержание углерода менее 1%), цифры справа от букв показывают среднее содержание легирующего элемента в процентах.

Из стали марки X изготовляют метчики и плашки, из стали 9ХС — сверла, развертки, метчики и плашки. Сталь В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков и разверток.

Температуростойкость легированных инструментальных сталей 350...400°С, поэтому допустимые скорости резания для инструмента из этих сталей в 1,2... 1,5 раза выше, чем для инструмента из углеродистых инструментальных сталей.

*Быстрорежущие* (высоколегированные) стали применяют чаще всего для изготовления сверл, зенкеров и метчиков. Марки быстрорежущих сталей обозначают буквами и цифрами, например Р6МЗ. Буква Р означает, что сталь быстрорежущая, цифры после нее показывают среднее содержание вольфрама в процентах, остальные буквы и цифры обозначают то же, что и в марках легированных сталей. Важнейшими компонентами быстрорежущих сталей являются вольфрам, молибден, хром и ванадий.

Быстрорежущие стали в зависимости от режущих свойств делят на стали нормальной и повышенной производительности. К сталям нормальной производительности относятся вольфрамовые стали марок Р18; Р9; Р9Ф5 и вольфрамомолибденовые стали марок Р6МЗ; Р6М5, сохраняющие твердость не менее HRC 58 до температуры 620°С. К сталям повышенной производительности относятся стали марок Р18Ф2; Р14Ф4; Р6М5К5; Р9М4К8; Р9К5; Р9К10; Р10К5Ф5; Р18К5Ф2, сохраняющие твердость HRC 64 до температуры 630... 640 °С.

Стали нормальной производительности — твердость HRC 65, Температуростойкость 620°С, предел прочности при изгибе 3...4 ГПа (300...400 кгс/мм2) — предназначены для обработки углеродистых и низколегированных сталей с пределом прочности на изгиб до 1 ГПа (100 кгс/мм2), серого чугуна и цветных металлов. Быстрорежущие стали повышенной производительности, легированные кобальтом или ванадием (твердость HRC 70...78, Температуростойкость 630...650°С, предел прочности при изгибе 2,5 ...2,8 ГПа, или 250...280 кгс/мм2), предназначены для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов, а с пределом прочности при изгибе свыше 1 ГПа (100 кгс/мм2) — для обработки титановых сплавов.

Все инструменты, изготовленные из инструментальных сталей, подвергают термической обработке. Инструменты из быстрорежущей стали могут работать при более высоких скоростях резания, чем инструменты из углеродистой и легированной инструментальных сталей.

*Твердые сплавы* делят на металлокерамические и минералокерамические. Форма пластин, изготовленных из этих сплавов, зависит от их механических свойств. Инструменты, оснащенные пластинами из твердых сплавов, позволяют работать на более высоких скоростях резания по сравнению с инструментами из быст­рорежущей стали.

*Металлокерамические твердые сплавы* подразделяют на вольфрамовые, вольфрамотитановые и титановольфрамотанталовые. *Вольфрамовые сплавы* группы ВК состоят из карбидов вольфрама и титана. Марки этих сплавов обозначают буквами и цифрой, например ВК2; ВКЗМ; ВК4; ВК6; ВК6М; ВК8; ВК8В. Буква В означает карбид вольфрама, буква К — кобальт, а цифра показывает содержание кобальта в процентах (остальное — карбид вольфрама). Буква М, приведенная в конце некоторых марок, означает, что сплав мелкозернистый. Инструмент, изготовленный из такого сплава, обладает повышенной износостойкостью, но его сопротивляемость ударам снижена. Инструменты из вольфрамовых твердых сплавов применяют для обработки чугуна, цветных металлов и Их сплавов и неметаллических материалов (резины, пластмассы, фибры, стекла и др.).

*Вольфрамотитановые сплавы* группы ТК состоят из карбидов вольфрама, титана и кобальта. Марки этих сплавов обозначают буквами и цифрами, например Т5К10; Т5К12В; Т14К8; Т15К6; Т30К4; Т15К12В. Буква Т означает карбид титана, цифра за ней -процентное содержание карбида титана, буква К — карбид кобальта, цифра за ней — процентное содержание карбида кобальта (остальное в данном сплаве — карбид вольфрама). Инструменты из этих сплавов применяют для обработки всех видов сталей.

*Волъфрамотитанотанталовые сплавы* группы ТТК состоят из карбидов титана, вольфрама, тантала и кобальта. Для изготовления металлорежущего инструмента используют сплавы марок ТТ7К12 и ТТ10К8Б, содержащие соответственно 7 и 10% карбидов титана и тантала, 12 и 8 % карбидов кобальта (остальное — карбид вольфрама). Инструмент из этих сплавов применяют в особо тяжелых условиях обработки, когда использование других инструментальных материалов неэффективно.

Твердые сплавы обладают высокой температуростойкостью. Вольфрамовые твердые сплавы сохраняют твердость HRC 83... 90, а вольфрамотитановые — HRC87...92 при температуре 800...950°С, что позволяет инструменту из сплавов работать при высоких скоростях резания (до 500 м/мин при обработке сталей и до 2700 м/мин при обработке алюминия).

Для обработки деталей из коррозионно-стойких, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов предназначены инструменты из мелкозернистых сплавов группы ОМ: из сплава ВК6-ОМ — для чистовой обработки, а из сплавов ВК10-ОМ и ВК15-ОМ — для получистовой и черновой обработки. Еще более эффективно для обработки труднообрабатываемых материалов использование инструментов из твердых сплавов марок ВК10-ХОМ и ВК15-ХОМ, в которых карбид тантала заменен карбидом хрома. Легирование сплавов карбидом хрома увеличивает их твердость и прочность при высоких температурах.

Для повышения прочности пластины из твердого сплава плакируют, т.е. покрывают защитными пленками. Широко применяют износостойкие покрытия из карбидов, нитридов и карбонидов титана, нанесенные тонким слоем (толщиной 5...10 мкм) на поверхность твердосплавных пластин. На поверхности этих пла­стин образуется мелкозернистый слой карбида титана, обладающий высокой твердостью, износостойкостью и химической устойчивостью при высоких температурах. Износостойкость твердосплавных пластин с покрытием в среднем в три раза выше износостойкости пластин без покрытия, что позволяет увеличить скорость резания на 25...30 %.

При определенных условиях в качестве инструментального материала применяют *минералокерамические материалы,* получаемые из окиси алюминия с добавками вольфрама, титана, тантала и кобальта.

Для режущего инструмента используют минералокерамику марки ЦМ-332, которая отличается высокой температуростойкостью (твердость HRC 89...95 при температуре 1200°С) и износостойкостью, что позволяет вести обработку стали, чугуна и цветных сплавов при высоких скоростях резания (например, чистовое обтачивание чугуна при скорости резания 3700 мм/мин, что в два раза выше скорости резания при обработке инструментом из твердых сплавов). Недостатком минералокерамики марки ЦМ-332 является повышенная хрупкость.

Для изготовления режущих инструментов применяют также режущую керамику (кермет) марок ВЗ; ВОК-60; ВОК-63, представляющую собой оксидно-карбидное соединение (окись алюминия с добавкой 30...40% карбидов вольфрама и молибдена). Введение в состав минералокерамики карбидов металлов (а иногда и чистых металлов — молибдена, хрома) улучшает ее физико-механические свойства (в частности, снижает хрупкость) и повышает производительность обработки в результате повышения скорости резания. Получистовая и чистовая обработка инструментом из кермета деталей из серых, ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и сплавов производится со скоростью резания 435... 1000 м/мин без подачи СОЖ в зону резания. Режущая керамика отличается высокой температуростойкостью (твердость HRC 90... 95 при температуре 950...1100°С).

Для обработки закаленных сталей (HRC 40...67), высокопрочных чугунов (НВ 200...600), твердых сплавов типа ВК25 и ВК15 и стеклопластиков применяют инструмент, режущая часть которого изготовлена из сверхтвердых материалов (СТМ) на основе нитрида бора и алмазов. При обработке деталей из закаленных сталей и высокопрочных чугунов применяют инструмент, изготовленный из крупных поликристаллов (диаметром 3...6 мм и длиной 4...5 мм) на основе кубического нитрида бора (эльбора Р). Твердость эльбора Р приближается к твердости алмаза, а его температуростойкость в два раза выше температуростойкости алмаза. Эльбор Р химически инертен к материалам на основе железа. Предел прочности поликристаллов при сжатии 4... 5 ГПа (400... 500 кгс/мм2), при изгибе – 0,7 ГПа (70 кгс/мм2), температуростойкость 1350... 1450°С.

Из других СТМ, применяемых для обработки резанием, следует отметить синтетические алмазы балас (марка АСБ) и карбонадо (марка АСПК). Карбонадо химически более активен к углеродсодержащим материалам, поэтому его используют при точении деталей из цветных металлов, высококремнистых сплавов, твердых сплавов ВК10... ВКЗО, неметаллических материалов. Стойкость резцов из карбонадов в 20... 50 раз выше стойкости резцов из твердых сплавов.

**2.6. Геометрические параметры и заточка режущей части инструментов**

Токарные резцы (рис. 2.3) являются наиболее распространенным режущим инструментом. Они, как и металлорежущие инструменты всех других видов, имеют *присоединительную часть* (участок *l2*) в виде державки или корпуса, а также режущую часть (участок *l1*), с помощью которой осуществляется процесс срезания стружки. Режущая часть состоит из одного или нескольких конструктивно обособленных *режущих элементов (зубьев),* которые работают одновременно или последовательно, непрерывно или с перерывами, вступая в работу один за другим.

Каждый режущий элемент имеет *переднюю поверхность* лезвия *Аγ* (по которой сходит стружка), контактирующую в процессе резания со срезаемым слоем, и одну или несколько *задних поверхностей* лезвия *Аα.* Одна из поверхностей резания называется *главной,* а остальные — *вспомогательными* задними поверхностями лезвия. Задние поверхности лезвия обращены к обрабатываемой заготовке.

Главная *режущая кромка* К, выполняющая основную работу резания, образуется в месте пересечения передней и задней поверхностей лезвия инструмента. Вершиной лезвия является участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей (главной и вспомогательной). Радиус кривизны вершины лезвия *rв* называется радиусом вершины.

Режущие кромки и примыкающие к ним передняя и задняя поверхности лезвия в совокупности образуют главное и вспомогательное лезвия. Преодолевая сопротивление обрабатываемого материала, лезвия врезаются в заготовку и снимают с нее стружку. Лезвия всех инструментов в поперечном сечении имеют форму клипа, который с одной стороны ограничен передней, а с другой – задней поверхностью (см. рис. 2.1).

Для определения углов лезвия резца или режущего элемента других инструментов установлены понятия: плоскость резания и основная плоскость (ГОСТ25762—83). *Плоскостью резания* называют плоскость, касательную к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярную основной плоскости (рис. 2.4).

*Основной* называют *плоскость,* проведенную через точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

Различают главные и вспомогательные углы лезвия (рис. 2.5). Главные углы измеряют в главной секущей плоскости, т. е. плоскости, перпендикулярной к проекции главной режущей кромки па основную плоскость.

 

Рис. 2.3. Элементы резца:

 К — главная режущая кромка; К' — вспомога­тельная режущая кромка; *Аγγ —* передняя поверх­ность лезвия; *Аαа —* главная задняя поверхность лезвия; *А’α—* вспомогательная задняя поверхность резания; В — вершина лезвия; *l1* — режущая часть; *l2* — присоединительная часть

Рис. 2.4. Условные плоскости для изучения геометрии резца:

*1 —* плоскость резания; *2 —* основная плоскость

Рис. 2.5. Геометрия резца:

α — задний угол резания; β — угол заострения лезвия; γ — главный передний угол лезвия; φ — главный угол в плане; δ — угол резания; φ1 — вспомогательный угол в плане; ε — угол при вершине в плане; λ— угол наклона главной режущей кромки; α1 и γ1 — задний и передний вспомогательные углы; *Ds —* направление движения подачи

 *Главным задним углом резания* α называется угол, находящийся в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

*Углом заострения лезвия* β называется угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

*Главным передним углом лезвия* γ называется угол, расположенный в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью. Сумма углов α + β + γ = 90°.

*Главный угол в плане* φ — это угол в основной плоскости, находящийся между плоскостью резания и рабочей плоскостью, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи.

*Углом наклона главной режущей кромки* λназывается угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

Придание режущей части инструмента заданных геометрических параметров и восстановление режущих свойств инструмента, утраченных в результате его износа и затупления, осуществляется заточкой и доводкой.

Качественная и своевременная заточка и доводка инструмента позволяет не только восстановить его геометрические параметры, но и способствует улучшению качества обрабатываемых деталей, повышению производительности труда рабочих-станочников основного производства, позволяет сократить расход инструмента, способствует ритмичной и бесперебойной работе металлорежущих станков.

Например, если осуществить доводку основных элементов режущей части резца из быстрорежущей стали, то при том же периоде его стойкости можно увеличить скорость резания на 10... 15%. Если скорость резания оставить в прежних пределах, то стойкость доведенного быстрорежущего резца возрастет почти в два раза, что уменьшит расходы на инструмент и снизит вспомогательное время, связанное со сменой инструмента и переналадкой станка.

Следовательно, процесс заточки и доводки режущего инструмента имеет следующее основное назначение:

• изготовление режущей части инструмента с оптимальными заданными геометрическими параметрами, способствующими повышению стойкости инструмента, точности и производительности обработки;

• обеспечение заданной шероховатости заточенных или дове­денных поверхностей инструмента, гарантирующей качество обработанной поверхности и уменьшение износа инструмента;

• сохранение режущих свойств, присущих инструментальному материалу, благодаря минимально допустимым изменениям в поверхностных слоях инструмента, связанным со структурными превращениями, появлением внутренних напряжений и трещин; повышение стойкости инструмента;

• удовлетворение условий экономичной эксплуатации инструмента.

Заточка инструмента осуществляется на машиностроительных предприятиях, как правило, централизованно. Вместе с тем, имея определенную квалификацию, рабочий-станочник периодически выполняет эту операцию сам. Например, вручную можно затачивать резцы, сверла. Для заточки более сложного инструмента необходимо специальное оборудование.

**2.7. Процесс стружкообразования. Классификация стружки**

Процесс резания (стружкообразования) является сложным физическим процессом, сопровождающимся большим тепловыделением, деформацией металла, износом режущего инструмента и наростообразованием на поверхности инструмента. Знание закономерностей процесса резания и сопровождающих его явлений позволяет рационально управлять этим процессом и изготовлять детали более качественно, производительно и экономично.

При резании различных материалов образуются следующие стружки (рис. 2.6): сливные (непрерывные), скалывания (элементные) и надлома.

*Сливная стружка* (рис. 2.6, а) образуется в процессе резания пластичных металлов (например, мягкой стали, латуни) при высокой скорости резания, малых подачах и температуре 400...500°С. Образованию сливной стружки способствует уменьшение угла резания δ (при оптимальном значении переднего угла γ) и высокое качество СОЖ. Угол резания δ= 90° - γ = α + β, где α — задний угол резания; β — угол заострения.

*Стружка скалывания* (рис. 2.6, б)состоит из отдельных связанных один с другим элементов и имеет пилообразную поверхность. Такая стружка образуется в процессе резания твердой стали и не­которых видов латуни при малой скорости резания и больших подачах. При изменении условий резания стружка скалывания может перейти в сливную, и наоборот.

*Стружка надлома* (рис. 2.6, в)образуется при резании малопластичных материалов (чугуна, бронзы) и состоит из отдельных кусочков.

Режущий инструмент деформирует не только слой, но и поверхностный слой обрабатываемой детали. Деформация поверхностного слоя металла зависит от различных факторов, ее глубина составляет от сотых долей до нескольких десятых долей миллиметра. Под действием деформации поверхностный слой металла упрочняется, увеличивается его твердость и уменьшается пластичность, т.е. происходит так называемый наклеп обрабатываемой поверхности.

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый металл, тем интен­сивнее процесс образования наклепа. Чугуны обладают значительно меньшей способностью к упрочнению, чем стали. Глубина и степень упрочнения при наклепе возрастают с увеличением подачи и глубины резания и уменьшаются с увеличением скорости реза­ния. При работе плохо заточенным инструментом глубина наклепа примерно в два-три раза больше, чем при работе острозаточенным инструментом. Применение СОЖ значительно уменьшает глубину и степень упрочнения поверхностного слоя.

При обработке металлов и, особенно, пластичных материалов (например, резцом) в непосредственной близости к режущей кромке резца на его переднюю поверхность налипает обрабатываемый материал, образуя металлический нарост. Этот нарост имеет клиновидную форму, а его твердость в два-три раза превышает твердость обрабатываемого материала. Являясь «продолжением» резца, нарост (рис. 2.7) изменяет геометрические параметры резца ( δ1<δ , где δ — исходный угол резания; δ1 — угол резания с учетом нароста), участвует в резании металла и оказывает влияние на результаты обработки, износ резца и силы, действующие на резец.

 

Рис. 2.6. Типы стружек:

 *а —* сливная; *б —* скалывания; *в* — надлома

 Рис. 2.7. Нарост на резце:

α — величина нароста; δ и δ1, — углы резания соответственно до и после образования нароста

При обработке нарост периодически скалывается и образуется вновь; отрыв частиц нароста происходит неравномерно по длине режущего лезвия, что приводит к мгновенному изменению глубины резания. Эти периодически повторяющиеся явле­ния увеличивают шероховатость обработанной поверхности. При скорости резания *υ < 5* м/мин и обработке хрупких металлов, например чугуна, нарост, как правило, не образуется. С увеличением пластичности обрабатываемого металла размеры нароста нозрастают. Наибольший нарост на инструменте из быстрорежущей стали образуется при скорости резания *υ=* 10...20 м/мин, а на инструментах из твердых сплавов — при и *υ >* 90 м/мин. На этом основании не рекомендуется производить чистовую обработку на этих скоростях.

С увеличением подачи нарост увеличивается, поэтому при чистовой обработке рекомендуется подача 0,1...0,2 мм/об. Глубина резания существенного влияния на размеры нароста не оказывает.

Для уменьшения нароста рекомендуется уменьшать шероховатость передней поверхности режущего инструмента, по возможности, увеличивать передний угол лезвия γ(например, при γ = 45° нарост почти не образуется) и применять СОЖ. При черновой обработке образование нароста, напротив, благоприятно сказывается на процессе резания.

**2.8. Тепловые явления при резании. Износ режущего инструмента**

В процессе резания металлов около 80 % работы затрачивается на пластическое и упругое деформирование срезаемого слоя и слоя, прилегающего к обработанной поверхности и поверхности резания, и около 20 % работы — на преодоление трения по передней и задней поверхностям инструмента. Примерно 85... 90 % всей работы резания превращается в тепловую энергию, количество которой (в зоне резания) существенно влияет на износ и стойкость инструмента, на шероховатость обработанной поверхности.

Установлено, что свыше 70 % этой теплоты уносится стружкой, 15...20 % — поглощается инструментом, 5... 10 % — деталью и только 1 % теплоты излучается в окружающее пространство.

Температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов резания, геометрических параметров режущего инструмента и применяемой СОЖ.

При обработке стали теплоты выделяется больше, чем при обработке чугуна. С увеличением прочности и твердости обрабатываемого материала температура в зоне резания повышается и при тяжелых условиях работы может достигать 1000...1100°С.

При увеличении подачи температура в зоне резания также повышается, но менее интенсивно, чем при увеличении скорости резания. Глубина резания оказывает наименьшее (по сравнению со скоростью и подачей) влияние на температуру в зоне резания.

При увеличении угла резания δ и главного угла в плане φ температура в зоне резания возрастает, а при увеличении радиуса ρ скругления режущей кромки — уменьшается. Применение СОЖ существенно уменьшает температуру в зоне резания.

Износ режущего инструмента значительно отличается от износа деталей машин, поскольку зона резания, в которой работает инструмент, характеризуется высокой химической чистотой трущихся поверхностей, высокими температурой и давлением в зоне контакта. Механизм износа инструмента при резании металлов включает в себя абразивный, адгезионный и диффузионный износ. Удельное влияние каждого из них зависит от свойств матери­ала, инструмента и детали, а также условий обработки (прежде всего скорости резания).

*Абразивный* износ инструмента заключается в следующем: стружка внедряется в рабочую поверхность инструмента и путем микроцарапаний удаляет с нее металл. Интенсивность абразивного износа повышается при снижении скорости резания.

*Адгезионный* износ инструмента происходит в результате схватывания или прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента. Результатом этого износа, происходящего при температуре ниже 900 °С, являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента, образующие при слиянии лунки. Адгезионный износ уменьшается при повышении твердости инструмента.

*Диффузионный* износ инструмента, происходящий при температуре 900... 1200°С, является результатом взаимного растворения металла заготовки и материала инструмента. Активность процесса растворения повышается при повышении температуры контактного слоя, т.е. при возрастании скорости резания. На основании этого диффузионный износ можно рассматривать как один из видов химического износа, приводящего к изменению химического состава и физико-химических свойств поверхностных слоев инструмента и снижающего его износостойкость.

Чем выше механические свойства обрабатываемого материала и содержание в нем углерода, хрома, вольфрама, титана, молибдена, тем интенсивнее износ инструмента. Наибольшее влияние на интенсивность износа оказывает скорость резания, наименьшее — подача и глубина резания.

Как правило, инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям. За критерий износа обычно принимают допустимый износ *h3* по задней поверхности инструмента (рис. 2.8, а). Например, для твердосплавных резцов при черновой обработке заготовок из стали *h3 =* 1,0... 1,4; из чугуна — *h3*=0,8... 1,0 мм, а при чистовой обработке заготовок из стали *h3*= 0,4...0,6 мм; из чугуна — *h3*= 0,6 ...0,8 мм. Преобладающий износ по задней поверхности обычно наблюдается при обработке с низкими скоростями резания заготовок из стали с малой (не более 0,15 мм) толщиной среза, а также при обработке заготовок из чугуна.

Преобладающий износ по передней поверхности резца наблюдается при большом давлении и при высокой температуре в зоне резания. Такие условия возникают при обработке с высокими скоростями резания и без охлаждения заготовок из стали с большой (более 5 мм) толщиной среза. При износе резца по передней поверхности hп на последней образуется лунка (рис. 2.8, *б),* ширина и глубина которой непрерывно увеличиваются. При этом ширина перемычки между лункой и режущей кромкой непрерывно уменьшается, и когда перемычка исчезает, наступает полный, или катастрофический, износ (рис. 2.8, *в).*

   

Рис. 2.8. Геометрические формы износа резца:

*а —* износ по задней и передней поверхностям: *h3* — износ по задней поверхности; *hп* — износ по передней поверхности; α — главный задний угол; *б* — лунка износа по передней поверхности: *hл* — глубина лунки износа; *в —* полный, или катастрофический, износ по передней поверхности; *г —* скругление режущей кром­ки: ρ — радиус скругления режущей кромки

На практике инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям одновременно, при этом радиус р скругления режущей кромки увеличивается (рис. 2.8, г). Преобладание одного из этих видов износа над другими зависит от режима обработки.

Геометрические формы износа сверла показаны на рис. 2.9. Для сверл из быстрорежущей стали при обработке заготовок из чугуна *h3=* 0,5...1,2 мм; из стали *h3 <* 1,1 мм, а для сверл, оснащенных пластинами из твердого сплава, для заготовок из чугуна и стали *h3*= 0,4... 1,3 мм. Большие значения износа допустимы для сверл большего диаметра.

Наиболее распространен износ сверла по задней поверхности у периферийной части режущей кромки. Он возникает вследствие увеличения температуры в зоне резания. Износ перемычки сверла наиболее часто возникает при обработке твердых материалов или при высокой скорости резания. Наиболее значителен износ сверла по передней поверхности при глубоком сверлении. Износ участка ленточки примыкающего к режущей части сверла зависит от деформации и увода сверла, а также от других факторов.

При чистовой обработке деталей за технологический критерий износа инструмента принимают допустимый износ, при превышении которого точность получаемых размеров и шероховатость обработанной поверхности не удовлетворяют заданным (по техническим требованиям). Так, технологическим критерием износа мерных инструментов для обработки отверстий (например, разверток) является износ по задней поверхности, при котором размер или качество поверхности обрабатываемого отверстия не соответствуют заданному допуску.



Рис. 2.9. Геометрические формы износа сверла:

*h3* — износ по задней поверхности; *hл* — износ по ленточке; *hп* — износ по передней по­верхности; *hц*— износ цилинд­рического участка; *hк* — износ конического участка

 Стойкость инструмента характеризуется его способностью без переточки длительное время обрабатывать заготовки в соответствии с техническими требованиями. Стойкость определяется временем непосредственной работы инструмента (исключая время перерывов) между переточками; это время называется периодом стойкости инструмента или стойкостью инструмента. Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания. Так, повышение скорости резания на 50 % снижает стойкость инструмента примерно на 75 %, в то время как аналогичное увеличение подачи снижает стойкость на 60 %.

**2.9. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания**

Применение СОЖ благоприятно воздействует на процесс резания металлов: значительно уменьшается износ режущего инструмента, повышается качество обработанной поверхности и снижаются затраты энергии на резание. При этом уменьшается наростообразование на режущей кромке инструмента и улучшаются условия для удаления стружки и абразивных частиц из зоны резания. Наименьший эффект дает применение СОЖ при обработке чугуна и других хрупких материалов.

При работе твердосплавным инструментом на высоких скоростях резания рекомендуется обильная и непрерывная подача СОЖ, так как при прерывистом охлаждении в пластинах твердого сплава могут образоваться трещины, приводящие к выходу инструмента из строя. Наиболее эффективно применение СОЖ при обработке вязких и пластичных металлов, при этом с увеличением толщины среза и скорости резания положительное воздействие СОЖ на процесс стружкообразования уменьшается. Выбор СОЖ зависит от обрабатываемого материала и вида обработки.

СОЖ должна обладать высокими охлаждающими, смазывающими, антикоррозийными свойствами и быть безвредной для обслуживающего персонала.

Все СОЖ можно разделить на две основные группы: охлаждающие и смазочные. К *первой группе* относятся водные растворы и эмульсии, обладающие большой теплоемкостью и теплопроводностью. Широкое распространение получили водные эмульсии, содержащие поверхностно-активные вещества. Они применяются при обдирочных работах, когда к шероховатости обработанной поверхности не предъявляют высоких требований.

Ко *второй группе* относятся минеральные масла, керосин, а также растворы поверхностно-активных веществ в масле или керосине. Жидкости этой группы применяются при чистовых и отделочных работах.

Также нашли применение осерненные масла (сульфофрезолы), в которых в качестве активированной добавки используется сера.

**2.10. Силы, действующие на режущий инструмент**

Зная силы, действующие в процессе резания, можно рассчитать и выбрать режущий инструмент и приспособления, определить мощность, затрачиваемую на резание, а также осуществлять рациональную эксплуатацию станка, инструмента и приспособлений.

Образование стружки в процессе резания происходит под действием силы резания, преодолевающей сопротивление металла. Силу *Р* резания, Н, при обработке точением можно разложить на три составляющие (рис. 2.10): тангенциальную *Рz,* направленную вертикально вниз и определяющую мощность, потребляемую при­водом главного движения станка; радиальную *Ру,* направленную вдоль поперечного движения подачи (эта сила отжимает резец и учитывается при расчете прочности инструмента и механизма поперечного движения подачи станка); осевую *Рх,* направленную вдоль продольного движения подачи (эта сила стремится отжать резец в сторону суппорта и учитывается при определении допустимой нагрузки на резец и механизмы станка при продольном движении подачи).

Между тремя составляющими силы резания существуют примерно следующие соотношения: *Рy=(0,25...0,5)Рz; Px=(0,l...Q,25)Pz.*

В большинстве случаев *Рz* = *0,9Р*, что позволяет производить многие практические расчеты не по силе *Р* резания, а по тангенциальной ее составляющей *Рz.*

 Рис. 2.10. Силы, действующие на резец:

*1* — резец; *2 —* заготовка; *Р —* сила резания; *Px.*, *Рy* и *Рх —* составляющие силы резания; *Dr* — направление главного движения резания; *Ds -*направление движения подачи; *t —* глубина резания

 В процессе резания на значение *Px.*, *Рy* и *Рх* влияют следующие факторы: обрабатываемый металл, глубина резания, подача, передний угол, главный угол в плане, радиус скругления режущей кромки, СОЖ, скорость резания и износ резца.

Физико-механические свойства обрабатываемого металла существенно влияют на значение силы резания. Чем больше предел прочности при растяжении σв и твердость обрабатываемого металла, тем больше *Px.*, *Рy* и *Рх.*

Увеличение глубины резания и подачи также приводит к увеличению составляющих силы резания, причем глубина резания больше влияет на силу резания, чем подача.

Чем меньше передний угол лезвия γ, тем больше сила резания. При увеличении главного угла φ в плане сила *Ру* резко уменьшается, асила *Pх*. увеличивается. Для твердосплавных резцов при увеличении φ от 60 до 90° сила *Рz,* практически не изменяется. При увеличении радиуса *r* скругления режущей кромки силы *Рz.* и *Ру* возрастают, а сила *Рх* уменьшается.

СОЖ уменьшают силу *Рz,* при небольшой толщине срезаемой стружки, увеличение толщины среза и скорости резания снижает эффект применения СОЖ.

При увеличении скорости резания от 50 до 500 м/мин сила *Рz,* значительно уменьшается; дальнейшее повышение скорости резания дает лишь небольшое уменьшение силы *Рz.*

Износ резца по задней поверхности значительно увеличивает силы *Рy* и *Рх.*

Материал режущей части резца также оказывает влияние на силу резания; например, твердосплавные резцы снимают стружку с несколько меньшей силой резания, чем резцы из быстрорежущей стали.

**2.11. Шероховатость поверхности и точность обработки**

На поверхностях деталей после их механической обработки всегда остаются неровности. Совокупность неровностей, образую­щихся при обработке, называют *шероховатостью поверхности.* Величина шероховатости оказывает непосредственное влияние на качество неподвижных и подвижных соединений. Детали с большой шероховатостью поверхности в неподвижных соединениях не обеспечивают требуемой точности и надежности сборки, а в подвижных соединениях — быстро изнашиваются и не обеспечивают первоначальных зазоров.

На поверхности, обработанной токарным резцом, образуются неровности в виде винтовых выступов и винтовых канавок (рис. 2.11). Неровности, расположенные в направлении движения подачи *Ds,* образуют поперечную шероховатость, а неровности, расположенные в направлении главного движения резания *Dr*, -продольную шероховатость. Высота *Н* и характер неровностей зависят от обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущих кромок инструмента и других факторов (рис. 2.12).

Значение *Н* увеличивается с увеличением подачи и уменьшается с увеличением радиуса скругления режущей кромки резца. При увеличении скорости резания высота *Н* неровностей уменьшается. Увеличение вспомогательного угла в плане φ1 уменьшение заднего угла, затупление режущей кромки приводят к увеличению шероховатости поверхности. В производственных условиях шероховатость обработанной поверхности детали оценивают методом сравнения с образцом. В качестве образца используют обработанную деталь, шероховатость которой аттестована.

Отклонения размеров и других параметров готовой детали от указанных в чертеже определяют погрешность обработки, значение которой должно находится в пределах допуска.



Рис. 2.11. Образование поперечной (я) и продольной *(б)* шероховато­сти поверхности при токарной обработке:

*Dr —* направление движения резания; *Ds —* направление движения подачи

 Погрешности подразделяют на систематические и случайные. К систематическим относятся погрешности, которые при обработке партии деталей повторяются на каждой детали. Эти погрешности больше случайных и определяют точность обрабатываемой детали.

Основными причинами систематических погрешностей обработки являются:

• неточность станка (например, непрямолинейность направляющих станины и суппортов, непараллельность или неперпендикулярность направляющих оси шпинделя, неточность изготовления шпинделя и его опор и т.д.);

• деформация сборочных единиц (узлов) и деталей станка под действием сил резания и нагрева в процессе работы;

• неточность изготовления режущих инструментов, приспособлений и их износ;

• деформация инструментов и приспособлений под действием сил резания и нагрева в процессе обработки;

• погрешности установки и базирования заготовки на станке;

• деформация обрабатываемой заготовки под действием сил резания и зажима, а также вследствие нагрева в процессе обработки;

• погрешности, возникающие при установке инструментов и их настройке на размер;

• погрешности в процессе измерения, вызываемые неточностью измерительных инструментов и приборов, их износом и деформациями, а также ошибкой рабочего при оценке показаний измерительных устройств.

Причины, вызывающие систематические погрешности, можно установить и устранить.



Рис. 2.12. Высота неровностей *H* при точении:

*а* — влияние вспомогательного угла в плане φ; *б —* влияние подачи *S; в* — влияние радиуса ρ скругления режущей кромки резца

К случайным относятся погрешности, возникающие вследствие случайных упругих деформаций заготовки, станка, приспособления и режущего инструмента (например, из-за неоднородности обрабатываемого материала).

**2.12. Режимы резания**

Качество и эффективность изготовления деталей машин зависят от рационального проведения процессов обработки заготовок резанием, которое достигается в следующих случаях:

• режущая часть инструмента имеет оптимальные геометрические параметры и качественную заточку лезвий;

• обработка заготовок ведется с технически и экономически обоснованными подачами *S* и скоростями резания *υ;*

• возможности механизмов станка — коробки подач и коробки скоростей — позволяют реализовать обоснованные значения подачи *S* и скорости резания *υ.*

Режимы резания характеризуются числовыми значениями глубины резания, подачи (или скорости движения подачи) и скорости резания, а также геометрическими параметрами и стойкостью инструментов, силами резания, мощностью и другими параметрами процесса резания, от которых зависят его технико-экономические показатели.

Выбор режимов резания можно считать рациональным, если значения перечисленных параметров позволяют получить высокие технико-экономические показатели. Параметры режима резания взаимосвязаны, поэтому нельзя произвольно изменять значение одного из них, не изменяя соответственно всех прочих.

При выборе и назначении режимов резания необходимо производить соответствующее согласование значений всех параметров с возможностями их реализации на станках. Необходимость учета большого числа взаимовлияющих факторов при назначении режимов резания обусловила использование метода постепенного приближения. На практике некоторым параметрам задают предварительные значения, а затем их корректируют с учетом других параметров до тех пор, пока не получат окончательные значения, которые могут быть использованы для реализации данного технологического процесса обработки. Кроме того, следует отметить, что решение поставленной задачи почти всегда много-нариантно, т.е. несколько вариантов сочетаний параметров режимов резания удовлетворяют поставленным требованиям.

Обычно выбор основных параметров режимов резания начинают с определения глубины резания. Она связана с припуском, оставляемым для выполнения данной технологической операции. На операциях окончательной обработки припуск составляет не более 0,5мм. На промежуточных операциях припуск на обработку изменяется в пределах 0,5...5мм. На операциях предварительной обработки заготовок в зависимости от их размеров и способа изготовления припуск может быть более 5 мм.

Например, припуск менее 7 мм может быть срезан за один проход резца (глубина резания равна припуску на обработку). В случае превышения некоторых критических значений глубины резания могут возникнуть вибрации станка, приспособления, инструмента, заготовки, поэтому припуск более 7 мм срезают за два или несколько проходов, а глубина резания при каждом проходе может быть постоянной или ее последовательно уменьшают.

Значение подачи *S* (как и глубины резания) определяют в зависимости от вида технологической операции. Операции окончательной обработки ведут при подаче на оборот *S0 <* 0,1 мм/об. При операциях промежуточного формообразования подачу назна­чают в пределах *S0=* 0,1...0,4 мм/об. Операции предварительной обработки для сокращения времени стремятся вести при подаче *S0=* 0,4...0,7 мм/об. При обработке заготовок на тяжелых станках можно применять глубину резания до 30 мм и подачу до 1,5 мм/об.

Предварительное значение скорости резания *υ* при известных глубине резания *t* и выбранном интервале подач *S* вычисляют по формуле, которая приводится в справочниках по режимам резания.

Твердость заготовки НВ устанавливают по технической документации, сопровождающей партию заготовок, поступающих на обработку.

Стойкость инструмента характеризуется периодом стойкости *Тр,* т.е. временем работы инструмента между переточками. Его назначают согласно рекомендациям справочных материалов в зависимости от характера выполняемой операции и инструментального материала. На практике используют некоторый интервал значений периода стойкости. Например, для твердосплавных резцов при выполнении операций промежуточного формообразования можно принять период стойкости *T*= 30...45 мин.

По формуле вычисляют два значения скорости резания: большее — для меньших значений подачи *S* и периода стойкости *Т* и меньшее — для больших их значений. По найденным значениям скорости резания *υ,* м/мин, для заданного диаметра *D,* мм, обрабатываемой заготовки по формуле *п* = *1000υ/(πD),* об/мин, рассчитывают два значения частоты вращения шпинделя — наибольшее и наименьшее, т.е. определяют интервал значений частоты вращения шпинделя, в пределах которого можно выбрать определенное значение, обеспечиваемое кинематикой станка.

Если на предварительном этапе устанавливают некоторый интервал значений параметров резания, в пределах которого дости­гаются заданные точность и качество обрабатываемой детали, то следующим этапом является выбор фактических (рабочих) значений основных параметров режимов резания.

Глубина резания (рабочая), как правило, равна полуразности диаметров обрабатываемой и обработанной детали (при точении).

Рабочую подачу выбирают из числа имеющихся в коробке подач станка, причем это значение должно находиться в пределах интервала предварительно выбранных значений подач.

Рабочую частоту вращения шпинделя выбирают из числа значений, обеспечиваемых коробкой скоростей станка, с учетом того, что она должна находиться в интервале частот для меньшей и большей скоростей.

С помощью установленных рабочих значений основных параметров режимов резания — глубины резания *t*, подачи *S* и частоты вращения шпинделя *п —* проводят расчет остальных рабочих режимов и соответствующих технико-экономических показателей.

Рабочую скорость резания *υ,* м/мин, при известной частоте вращения шпинделя *п,* об/мин, и заданном диаметре заготовки *D,* мм, можно рассчитать по формуле *υ=10-3π Dn.*

Формулы для расчета рабочих значений периода стойкости инструмента, силы резания, момента вращения *Мв,* кН۠۠∙м, на шпинделе станка и эффективной мощности, затрачиваемой на обработку заготовки резанием, приводятся в справочнике.