

Тема: ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

1. Понятие обработки резанием
2. Элементы процесса резания и геометрия срезаемого слоя
3. Геометрия инструмента и ее влияние на процесс резания и качество обработки
4. Физические основы процесса резания металлов
5. Силы резания
6. Износ и стойкость режущего инструмента
7. Точность обработки и качество обработанной поверхности
8. Производительность обработки резанием
9. Смазывающе-охлаждающие технологические среды

1. ПОНЯТИЕ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки с целью получения заданной геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхности детали. Для обработки детали режущий инструмент и заготовку необходимо установить и закрепить в рабочих органах станка и сообщить им относительные движения.

Движения, обеспечивающие срезание с заготовки поверхностного слоя металла или изменение состояния обработанной поверхности, называют движениями резания. К ним относят главное движение и движение подачи.

Главным движением называется движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки.

Движением подачи называется движение, обеспечивающее непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть вращательными, поступательными, возвратно-поступательными, непрерывными или прерывистыми.

Для любого процесса резания можно составить схему обработки (рис. 1), на которой условно изображают обрабатываемую заготовку 2, ее базирование 8 и закрепление 7 в рабочем приспособлении станка 3, режущий инструмент 1 в положении, соответствующем концу обработки. Везде далее на схемах обработки движение резания плавно обозначается через его скорость V , движение подачи обозначается через скорость подачи S .

Движение подачи может быть продольное $S_{\text{прод}}$, поперечное $S_{\text{поп}}$, вертикальное $S_{\text{в}}$, круговое $S_{\text{круг}}$ и др.

В процессе резания на заготовке различают: обрабатываемую поверхность 4, с которой снимают стружку; поверхность резания 5, образуемую в результате воздействия главной режущей кромки инструмента, обработанную поверхность 6, полученную в процессе обработки.

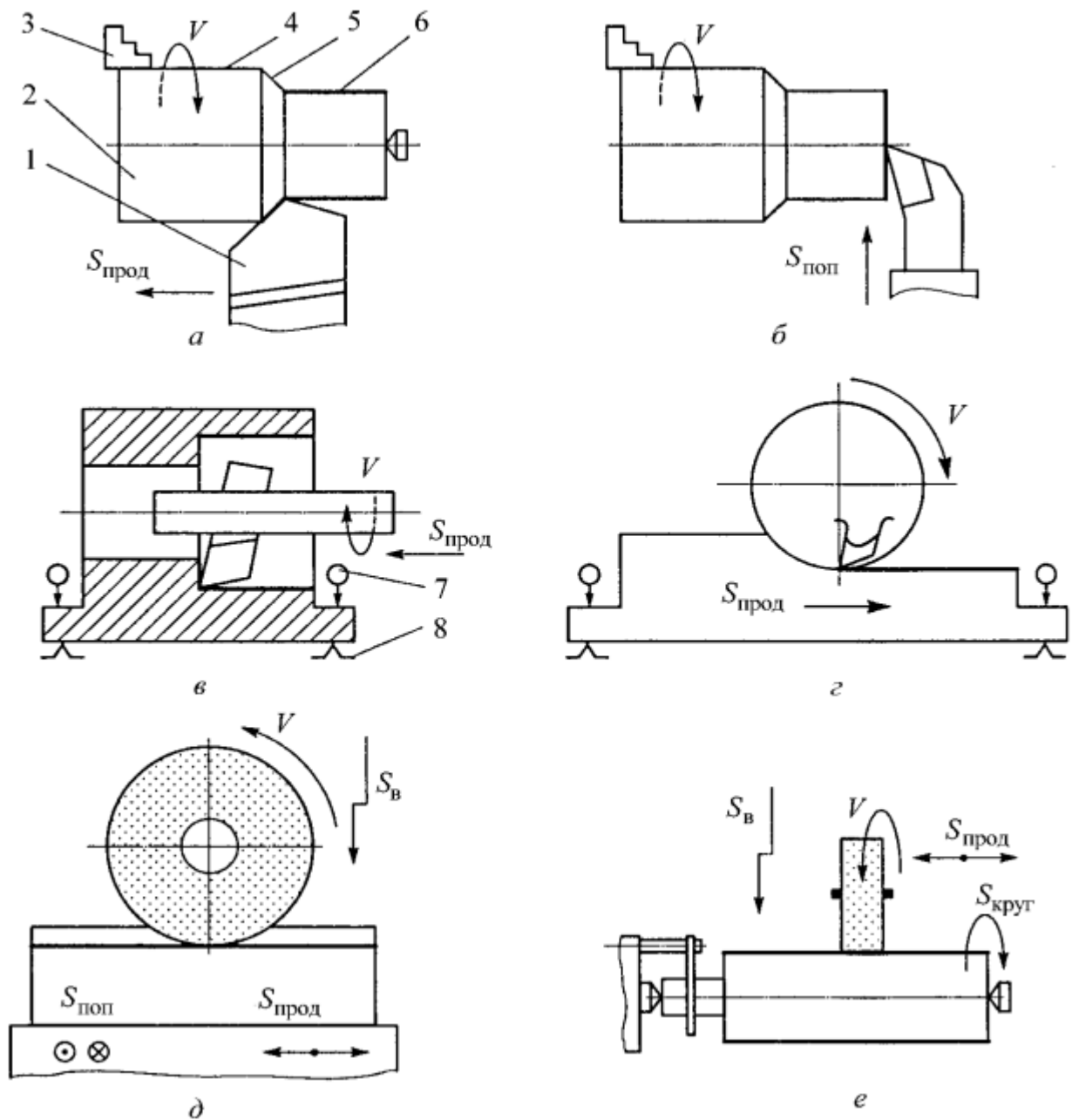


Рис. 1. – Схемы обработки заготовок:

а) продольным точением; б) поперечным точением; в) растачиванием; г) фрезерованием; д) плоским шлифованием; е) круглым шлифованием; 1 – режущий инструмент; 2 – заготовка; 3 – станочное (рабочее) приспособление; 4 – обрабатываемая поверхность; 5 – поверхность резания; 6 – обработанная поверхность; 7 – прижим; 8 – базирующий элемент;
 V – движение резания; $S_{\text{прод}}$, $S_{\text{поп}}$, $S_{\text{в}}$, $S_{\text{круг}}$ – соответственно продольное, поперечное, вертикальное и круговое движения подачи

2. ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Элементами процесса резания являются скорости главного движения резания и подачи, а также глубина резания. Совокупность этих элементов называется режимом резания.

Скорость резания V – путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в единицу времени в направлении главного движения. Размерность скорости резания: для лезвийной обработки – метр в минуту, для абразивной обработки – метр в секунду.

Если главное движение является вращательным, то имеет место:

для лезвийной обработки

$$V = \pi D n / 1000,$$

для шлифования

$$V = \pi D n / (1000 \cdot 60),$$

где D – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки или диаметр вращающегося инструмента, мм;

n – частота вращения заготовки (инструмента), об/мин.

Если главное движение является возвратно-поступательным, а скорости рабочего и холостого ходов разные, средняя скорость, м/мин:

$$V = (K + 1) L \cdot m / 1000,$$

где $K = V_{р.х} / V_{х.х}$ – коэффициент отношения скорости рабочего хода $V_{р.х}$ к скорости холостого хода $V_{х.х}$;

L – расчетная длина хода резца, мм;

m – число двойных ходов резца в минуту.

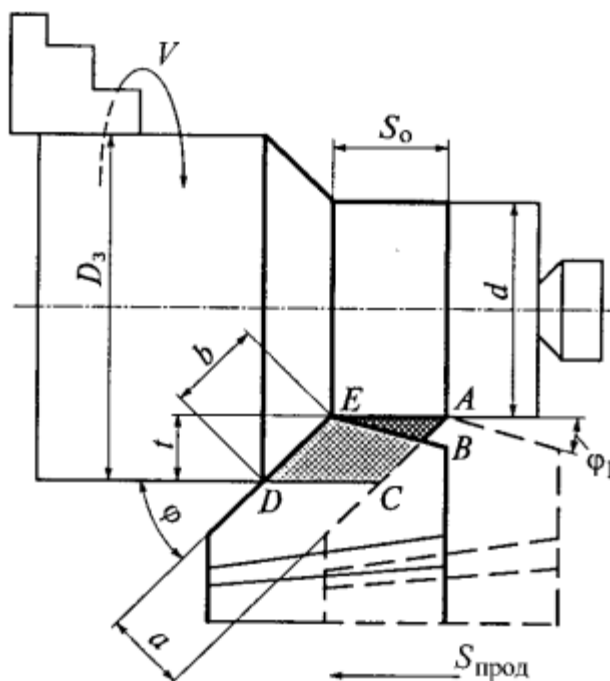


Рис. 2. – Элементы процесса резания и геометрия срезаемого слоя:

$D_з$ – диаметр заготовки; d – диаметр обработанной поверхности; V – движение резания; $S_{прод}$ – движение продольной подачи; $S_о$ – подача на оборот; t – глубина резания; a, b – толщина и ширина срезаемого слоя; ϕ, ϕ_1 – углы в плане; CDE – сечение срезаемого слоя; ABE – несрезанный гребешок

Скорость движения подачи (подача) S – путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в единицу времени в направлении движения подачи. Различают:

подачу в минуту (минутную) S_M – перемещение режущего инструмента в минуту, мм/мин;

подачу на оборот $S_о$ – перемещение режущего инструмента за один оборот заготовки или инструмента, мм/об;

подачу на зуб S_Z (для многозубых инструментов) – перемещение режущего инструмента за время поворота на угол, равный угловому шагу зубьев, мм/зуб;

подачу на двойной ход $S_{2х}$ – перемещение режущего инструмента за один двойной ход, мм/2х.

$$S_M = S_о \cdot n = S_Z \cdot n \cdot z = S_{2х}$$

где z – число зубьев инструмента.

Глубина резания t – кратчайшее расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями, мм. При точении (рис. 2) глубина резания определяется:

$$t = 0,5 (D_3 - d),$$

где D_3 и d – соответственно диаметры заготовки и обработанной поверхности, мм.

Форма и размеры срезаемого слоя (рис. 2) зависят от глубины резания, подачи на оборот, геометрии режущего инструмента (углов φ и φ_1) и формы режущей кромки инструмента. При перемещении инструмента вдоль оси заготовки его вершина описывает винтовую линию с шагом, равным S_0 . Следовательно, не вся площадь поперечного сечения материала ACDE будет срезана с заготовки. Действительное сечение срезаемого слоя BCDE = ACDE – ABE. Остаточное сечение ABE в виде винтовой линии останется на заготовке. Однако фактическая шероховатость обработанной поверхности определяется не только остаточным сечением ABE, но и физико-механическими свойствами материала заготовки, вибрациями технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь».

3. ГЕОМЕТРИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ

Токарный прямой проходной резец (рис. 3) состоит из рабочей части (головки) 2 и тела (стержня) 3. Тело резца служит для его установки и закрепления в резцедержателе.

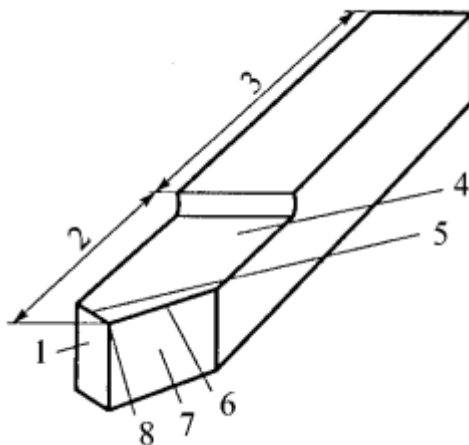


Рис. 3. – Элементы токарного прямого проходного резца: 1 – вспомогательная задняя поверхность; 2 – головка резца; 3 – тело резца; 4 – передняя поверхность; 5, 6 – вспомогательная и главная режущие кромки соответственно; 7 – главная задняя поверхность; 8 – вершина резца

Рабочая часть резца образуется при его заточке и содержит следующие элементы: передняя поверхность 4 (поверхность, по которой сходит стружка); главная задняя поверхность 7 (она наиболее развита и направлена по движению подачи); вспомогательная задняя поверхность 1 (направлена против движения подачи). Пересечение передней и главной задней поверхностей дает главную режущую кромку 6, пересечение передней и вспомогательной задней поверхностей дает вспомогательную режущую кромку 5. Режущие кромки пересекаются в вершине резца 8. Расположение поверхностей и кромок резца определяется его заточкой (геометрия инструмента).

Для определения углов, под которыми располагаются элементы инструмента, вводят координатные плоскости. Рассматривают три системы координат: инструментальную, статическую и динамическую.

В инструментальной системе координат инструмент рассматривается как геометрическое тело.

В статической системе координат скорость главного движения отлична от нуля, а скорость движения подачи равна нулю.

В динамической системе координат скорости главного движения и движения подачи отличны от нуля.

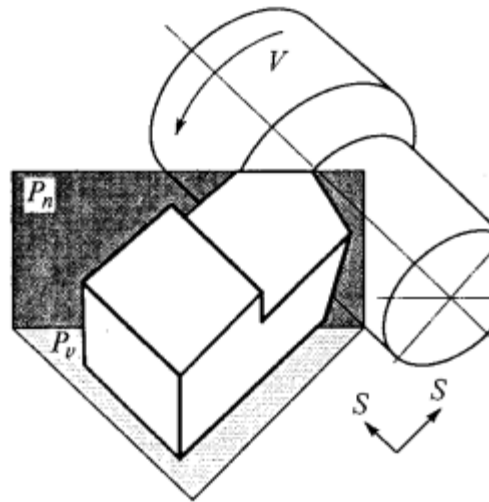


Рис. 4. – Координатные плоскости токарного проходного резца:
 V – движение резания; S – движения подачи; P_v – основная плоскость; P_n – плоскость резания

На рис. показаны координатные плоскости токарного проходного резца в статической системе координат. Основная плоскость P_v параллельна всем возможным направлениям движения подачи для данного способа обработки. Плоскость резания P_n проходит через главную режущую кромку касательно поверхности резания. Главная секущая плоскость P_τ проходит через главную режущую кромку перпендикулярно поверхности резания (на рис. 4 не показана).

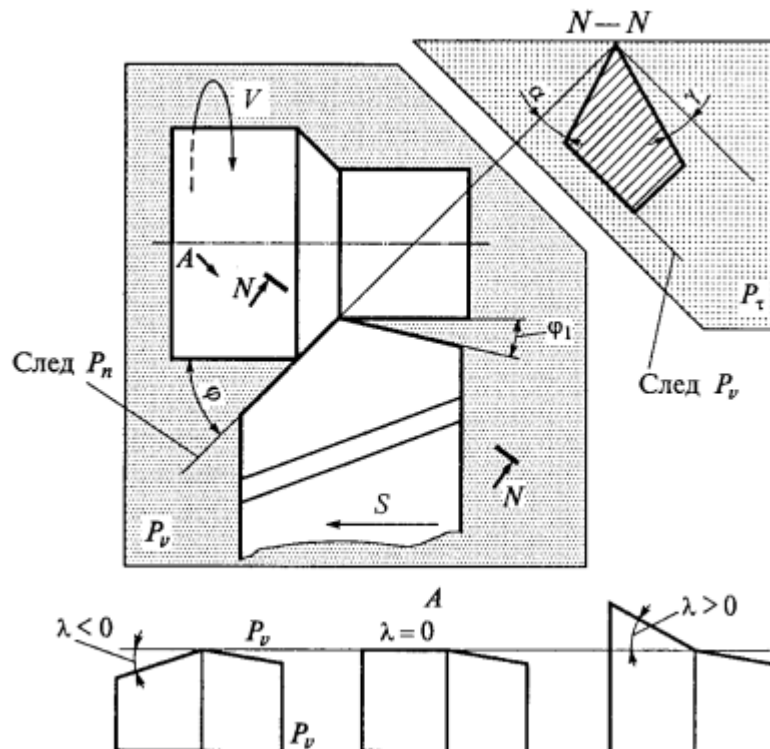


Рис. 5. – Углы резца в статической системе координат:
 V – движение резания; S – движение подачи; P_v – основная плоскость; P_n – плоскость резания; P_τ – главная секущая плоскость; α , γ – главные задний и передний углы; φ , φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане; λ – угол наклона главной режущей кромки

Рассмотрим геометрию режущей части инструмента в статической системе координат на примере токарного проходного резца (рис. 5).

Главные углы рассматриваются в главной секущей плоскости P_r .

Главный задний угол α – угол между касательной к главной задней поверхности в рассматриваемой точке главной режущей кромки и плоскостью резания.

Наличие угла уменьшает трение между обработанной и главной задней поверхностями, что увеличивает стойкость инструмента. Однако чрезмерное увеличение угла приводит к уменьшению прочности режущего лезвия. Величина угла – $5\text{--}10^\circ$ и выбирается в зависимости от упругих свойств обрабатываемого материала. Для тех видов обработки, при которых скорость подачи соизмерима со скоростью главного движения (нарезание резьбы), угол выбирается в пределах $8\text{--}14^\circ$.

Главный передний угол γ – угол между основной плоскостью и передней поверхностью. Он может быть положительным (если передняя поверхность расположена ниже основной плоскости), равным нулю (передняя поверхность совпадает с основной плоскостью) и отрицательным (если передняя поверхность расположена выше основной плоскости).

Величина угла оказывает большое влияние на процесс резания. С увеличением угла уменьшаются деформации срезаемого слоя (режущему клину легче врезаться в металл), улучшаются условия схода стружки, уменьшаются силы резания, повышается качество обработки. Однако чрезмерное увеличение угла приводит к уменьшению прочности режущего лезвия, увеличению износа режущего лезвия вследствие выкрашивания, к ухудшению теплоотвода от инструмента. При обработке низкоуглеродистых и низколегированных сталей быстрорежущим инструментом угол γ выбирают в пределах $12\text{--}18^\circ$. При обработке вязких материалов угол увеличивают, а при обработке хрупких и твердых материалов – уменьшают вплоть до отрицательных значений.

Углы в плане рассматриваются между направлением движения подачи и проекцией соответствующей режущей кромки на основную плоскость.

Главный угол в плане ϕ – угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением движения подачи. Угол определяет параметры переходного конуса между обрабатываемыми цилиндрами и угол фасок, т. е. выбирается конструктором. В основном угол влияет на шероховатость обработанной поверхности. С уменьшением угла шероховатость понижается, одновременно уменьшается толщина и увеличивается ширина срезаемого слоя, следовательно, уменьшаются сила и температура резания, приходящиеся на единицу длины режущей кромки, но резко увеличивается сила резания в направлении, перпендикулярном оси заготовки. Вспомогательный угол в плане ϕ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением движения подачи. С уменьшением угла понижается шероховатость обработанной поверхности, одновременно увеличиваются прочность режущего лезвия и его стойкость.

Угол наклона главной режущей кромки λ – это угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью, проведенной через вершину резца. Если вершина резца является высшей частью главной режущей кромки, $\lambda > 0$; если совпадает с основной плоскостью, $\lambda = 0$; если вершина является низшей частью главной режущей кромки, $\lambda < 0$. С увеличением угла ухудшается качество обработанной поверхности. Но чаще всего выбор величины и знака угла определяется направлением схода стружки. При отрицательных значениях угла λ стружка сходит по направлению движения подачи, что безопасно при работе на универсальных станках; при положительных – стружка сходит по направлению против движения подачи, что безопасно при работе на станках с автоматическим и полуавтоматическим циклом. Положительные углы применяются при обработке отверстий для того, чтобы стружка выходила из отверстия.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Резание металлов – это сложный процесс физико-химического взаимодействия режущего инструмента, заготовки и окружающей среды. Упрощенно процесс резания можно представить в виде схемы, показанной на рис. 6.

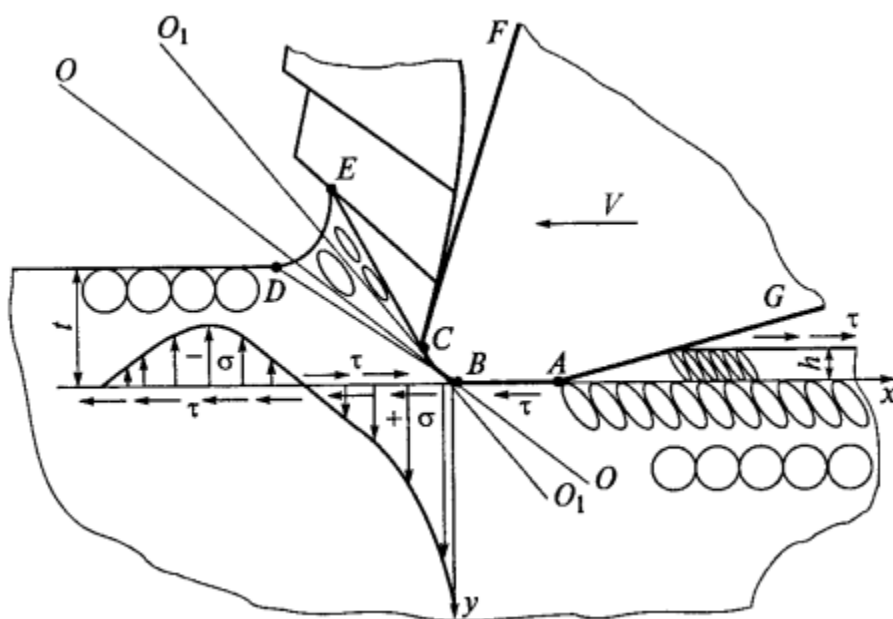


Рис. 6. – Схема процесса резания:

V – движение резания; BCF – передняя поверхность; GAB – задняя поверхность; BD – плоскость скалывания; $BDEC$ – зона стружкообразования; OO – плоскость сдвига; O_1O_1 – направление осей деформированных кристаллов; h – упругое восстановление обработанной поверхности; t – глубина резания; σ , τ – нормальные и касательные напряжения соответственно

На режущем лезвии реального резца можно различить округление лезвия BC и площадку износа AB , поэтому реальной передней поверхностью будет поверхность BCF , а реальной задней поверхностью – GAB . В начальный момент режущее лезвие инструмента вдавливается в металл, в срезаемом слое возникают упругие деформации, которые затем переходят в пластические.

В плоскости, перпендикулярной траектории перемещения резца, возникают нормальные напряжения σ , а в плоскости, совпадающей с траекторией перемещения резца, – касательные напряжения τ . В оконечности передней поверхности (точка B) касательные напряжения τ наибольшие и уменьшаются по мере удаления от точки B . Нормальные напряжения σ вначале действуют как растягивающие ($+\sigma$), а затем быстро уменьшаются до нуля и переходят в напряжения сжатия ($-\sigma$). Срезаемый слой металла пластически деформируется. Рост пластических деформаций приводит к деформации сдвига, т. е. смещению частей кристалла относительно друг друга. Деформации происходят в зоне $BDEC$, называемой зоной стружкообразования.

В плоскости CE происходит разрушение кристаллов (скалывание отдельных элементарных объемов металла) и образуется сегмент стружки.

Далее процесс повторяется. Условно считают, что деформации сдвига происходят в плоскости OO , называемой плоскостью сдвига. Она располагается под углом 30° к направлению движения резца. Срезанный сегмент стружки претерпевает дополнительную деформацию вследствие трения о переднюю поверхность и завивается в спираль. Структура металла в зоне $BDEC$ отличается от структуры нижележащих слоев основного металла. (На рис. 6 недеформированные слои условно показаны в виде окружностей, по мере деформации окружности сплющиваются и большая ось получившихся овалов располагается под углом к линии OO). Характер деформаций срезаемого слоя зависит от физико-механических свойств обрабатываемого металла, геометрии режущего инструмента, условий обработки, режимов резания и т.д.

При резании с малыми скоростями и большими величинами подачи и глубины резания стружка имеет ярко выраженные плоскости сдвига и сегменты (стружка скалывания). При резании с большими скоростями и малыми величинами подачи и глубины резания стружка имеет вид сплошной ленты: прирезцовая сторона гладкая, на внешней стороне видны небольшие пилообразные зазубрины (сливная стружка). Такая стружка может травмировать оператора (токаря), ее сложно убирать со станка, сложно транспортировать в отделение переработки стружки, поэтому необходимо применять специальные устройства для ее дробления (например, стружколомные канавки на передней поверхности резца). При обработке хрупких материалов пластическая деформация практически отсутствует; стружка имеет вид отдельных, не связанных друг с другом сегментов (стружка надлома).

По мере прохождения режущего инструмента обработанная поверхность, вследствие воздействий упругих и пластических деформаций, упруго восстанавливается на величину h и структура поверхностных слоев отличается от структуры сердцевины. Твердость поверхностного слоя будет выше твердости сердцевины, образуется так называемый наклепанный слой, наклеп. Величины упругого восстановления обработанной поверхности, твердости поверхностного слоя, глубины расположения наклепанного слоя и эпюры напряжений зависят от физико-механических свойств обрабатываемого металла, геометрии режущего инструмента, условий обработки, режимов резания. Чем больше упругопластические свойства обрабатываемого материала, чем больше применяемые глубина резания и подача и чем меньше скорость резания, тем больше величина упругого восстановления обработанной поверхности, твердость поверхностного слоя и тем глубже распространен наклеп.

5. СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Под силой резания понимают силу сопротивления перемещению режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Работа силы резания затрачивается на упругое и пластическое деформирование металла, на его разрушение, на трение задней поверхности об обработанную поверхность и стружки о переднюю поверхность режущего инструмента.

Результатом сопротивления металла заготовки процессу резания является возникновение реактивных сил, действующих на режущий инструмент (рис. 7, а).

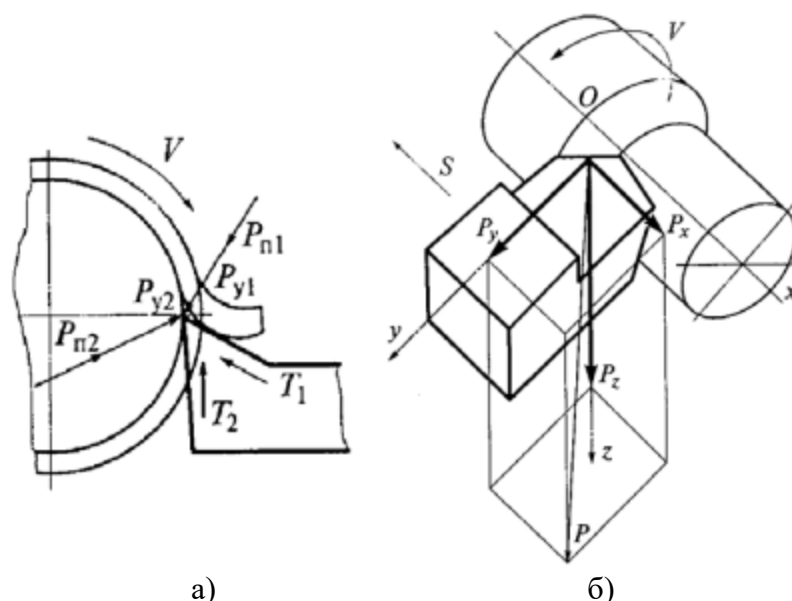


Рис. 7. – Сила резания:

а) плоская система сил; б) разложение силы резания на составляющие; P_{y1} , P_{n1} – реактивные силы упругой и пластической деформации по передней поверхности; P_{y2} , P_{n2} – реактивные силы упругой и пластической деформации по задней поверхности; T_1 , T_2 – силы трения; P – сила резания; P_z , P_x , P_y – соответственно главная, осевая и нормальная составляющие силы резания

Реактивные силы – это силы упругого (P_{y1} и P_{y2}) и пластического ($P_{п1}$ и $P_{п2}$) деформирования, направленные перпендикулярно соответственно задней и передней поверхностям инструмента, и силы трения (T_1 и T_2) по задней и передней поверхностям. Векторная сумма всех этих сил даст единичную силу резания по сечению резца. Просуммировав единичные силы, получим равнодействующую силу резания:

$$P = P_{п1} + P_{п2} + P_{y1} + P_{y2} + T_1 + T_2.$$

Однако вследствие переменности условий резания (неоднородность структуры металла заготовки, допуски на размеры обрабатываемой поверхности и т. д.) равнодействующая сила резания P переменна по величине и направлению, поэтому для расчетов используют не силу P , а ее проекции на заданные координатные оси (рис. 7, б):

$$P = P_x + P_y + P_z.$$

Ось O_x проводят в направлении, противоположном направлению движения подачи, ось O_z – в направлении главного движения, ось O_y – в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности.

Полученные проекции: P_z – главная составляющая силы резания; P_x – тангенциальная (осевая) составляющая силы резания; P_y – нормальная (радиальная) составляющая силы резания. Причем использование составляющих силы резания оказалось очень удобно:

Во-первых, по силе P_z определяют параметры механизма главного движения станка, по силе P_x – параметры механизма подачи станка, сила P_y является одним из главных элементов расчета точности обработки.

Во-вторых, соотношение составляющих силы резания для различных схем обработки и различных пар «материал заготовки – материал режущей части инструмента» достаточно стабильно. Например, для наружного точения низколегированных сталей быстрорежущим инструментом соотношение $P_z : P_y : P_x$ находится в пределах $1 : (0,4-0,6) : (0,2-0,4)$.

Главную составляющую силы резания P_z определяют по эмпирической формуле:

$$P_z = C_p \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{Z_p} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_i,$$

где C_p – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала;

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/мин;

V – скорость резания, м/мин;

показатели степени X_p , Y_p , Z_p и коэффициенты K_1 , K_2 , ..., K_i учитывают факторы, не вошедшие в формулу.

Аналогичные формулы существуют и для расчета других составляющих силы резания.

6. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Все физико-химические процессы, возникающие при резании металлов (трение стружки о переднюю поверхность резца, трение обработанной поверхности о заднюю поверхность резца, высокая температура и высокое давление в зоне резания, окисление материала передней поверхности и т. д.), приводят к изнашиванию режущего инструмента.

Различают износ (рис. 8) по передней поверхности (вытирание лунки шириной b) и износ по задней поверхности (ленточка шириной h_3). Для различных инструментальных материалов и разных условий резания изнашивание инструмента происходит с различной интенсивностью, и одни виды износа могут превалировать над другими. Например, при точении быстрорежущими

сталими при срезании тонких стружек (толщиной менее 0,15 мм) преобладает износ по главной задней поверхности; при обработке на больших скоростях и при срезании толстых стружек (толщиной более 0,5 мм) преобладает износ по передней поверхности; при срезании стружек толщиной от 0,15 до 0,5 мм происходит одновременное изнашивание по передней и задней поверхностям.

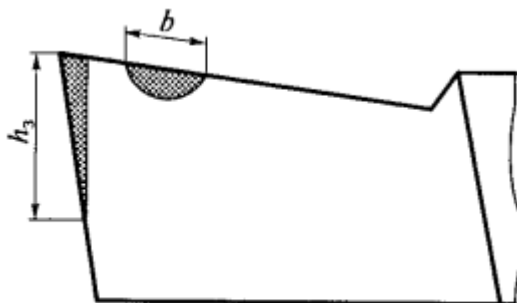


Рис. 8. Износ режущего инструмента по задней (h_3) и передней (b) поверхностям

Для определения оптимального времени работы инструмента исследуют зависимость износа инструмента от времени его работы. Время работы инструмента от переточки до переточки называется стойкостью. Физическая стойкость T_{ϕ} – время работы инструмента до аварийного изнашивания.

При чистовой обработке детали износ режущего инструмента может существенно влиять на точность обработки вследствие уменьшения его фактического вылета. Поэтому для чистовой обработки назначают размерную стойкость T_r (инструмент изнашивается до величины, при которой происходит существенное влияние износа на точность обработки детали).

Таблица 1. – Нормативные значения показателя t для различных условий обработки

Режущий инструмент	Материал режущей части	Обрабатываемый материал		
		Сталь конструкционная	Сталь нержавеющая	Чугун
Токарные резцы	Быстрорежущая сталь	0,125–0,3	0,15	0,15
	Твердый сплав	0,18–0,27	0,15	0,2–0,28
Фрезы	Быстрорежущая сталь	0,2–0,33	0,14–0,27	0,15–0,25
	Твердый сплав	0,2–0,33	0,32	0,32–0,42
Сверла	Быстрорежущая сталь	0,2	0,12	0,125
	Твердый сплав	–	–	0,4
Зенкеры	Быстрорежущая сталь	0,3	0,12	0,125
Развертки	Быстрорежущая сталь	0,4	0,12	0,3
Метчики		0,9	–	0,6
Плашки		0,5	–	–

Кроме физической и размерной стойкости различают минутную стойкость T_M – период работы в минутах, штучную стойкость $T_{шт}$ – количество обработанных деталей до переточки инструмента.

Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания, поэтому в расчетах стойкости чаще всего используется зависимость:

$$T = C / V^n,$$

где C – постоянная величина;
 V – скорость резания;
 m – показатель относительной стойкости (табл. 1).

7. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Под точностью обработки понимается соответствие изготовленного изделия или партии изделий (детали, узла, машины) эталону, т.е. его (ее) чертежу. Применительно к обрабатываемым деталям различают:

размерную точность (соответствие размеров изделия чертежу), геометрическую точность (соответствие формы, волнистости и шероховатости поверхности требованиям чертежа), соответствие физико-химических свойств, структурного состояния поверхностных слоев (микротрещины, надрывы, измельченная структура), соответствие остаточных напряжений в поверхностных и глубинных слоях детали (глубина их проникновения, величина, знак) требованиям чертежа и т.д.

Размерная точность

В соответствии с требованиями Международной организации по стандартизации (ISO) в России весь диапазон размеров и допусков разбит на 19 квалитетов (01–17). Точные квалитеты (01–1) назначаются весьма редко, главным образом при изготовлении плоскопараллельных концевых мер длины. Квалитеты 1–4 применяются для изготовления рабочих и контрольных калибров. Обычные детали машин изготавливают по 4–12-му квалитетам. По грубым квалитетам (13–17) задаются допуски на свободные (неответственные или несопрягаемые) поверхности.

Геометрическая точность поверхности

Поверхность, отделяющая деталь от окружающей среды, называется реальной поверхностью. Эта поверхность образуется при обработке и в отличие от номинальной поверхности (поверхности, указанной на чертеже) имеет неровности различной формы и высоты.

Различают следующие погрешности геометрической точности: макрогеометрия (погрешности формы), волнистость и микрогеометрия (шероховатость).

Погрешности формы рассматривают на больших участках реальной поверхности (отношение шага неровностей к их высоте – более 1000). Под этим показателем понимается конусообразность, овальность, неплоскостность обработанной поверхности. Эти параметры должны укладываться в требования соответствующих стандартов России или в требования чертежа.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности (отношение шага неровностей к их высоте – менее 50) и рассматриваемых в пределах определенного ее участка (базовой длины).

Волнистость занимает промежуточное положение между погрешностью формы и шероховатостью.

Физико-механическое состояние обработанной поверхности.

Поверхностные слои детали после механической обработки пластически деформированы, поэтому физическое состояние этих слоев в основном характеризуется деформационными изменениями в них. Следствием этих изменений является деформационное упрочнение (наклеп) поверхности и степень деформации отдельных зерен.

8. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Количество деталей, выпускаемых в единицу времени, называется производительностью обработки и рассчитывается по формуле:

$$Q = 1 / T_{шт.}$$

Штучное время $T_{шт}$ складывается из основного технологического T_0 , подготовительно-заключительного $T_{п-з}$ времени и времени на организационное и техническое обслуживание рабочего места $T_{орг.тех.}$

Основное технологическое время, т.е. время, затрачиваемое непосредственно на обработку поверхности (детали):

$$T_0 = T_M + T_B + T_{х.х.}$$

Машинное время T_M – это время, затрачиваемое на снятие стружки; рассчитывается по формуле:

$$T_M = L / (n \cdot S_0 \cdot t),$$

где L – длина обработки, мм;

n – частота вращения, об/мин;

S_0 – подача на оборот, мм/об;

t – глубина резания, мм.

Вспомогательное время T_B затрачивается на перемещение режущего инструмента с рабочей подачей: подвод, врезание, прохождение участков, не требующих снятия стружки, перебеги (гарантированный отвод инструмента).

Время холостых ходов $T_{х.х.}$ затрачивается на быстрый подвод-отвод режущего инструмента в зону обработки.

9. СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ

Современные смазывающе-охлаждающие технологические среды (СОТС) – это сложные многокомпонентные соединения продуктов нефтяного и химического производства.

Цель использования СОТС – повышение стойкости инструмента, уменьшение силы резания, улучшение качества обработанной поверхности, удаление стружки из зоны резания. В основе действия СОТС лежат следующие эффекты: смазочный, охлаждающий и моющий.

Смазочный эффект – уменьшение сил адгезии и трения на поверхностях инструмента. Необходимым условием проявления этого эффекта является способность СОТС проникать между контактирующими поверхностями по капиллярам и образовывать там пленки, уменьшающие коэффициент трения.

Охлаждающий эффект – снижение температуры в зоне контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом за счет уменьшения тепловыделения и увеличения теплоотвода. Уменьшение тепловыделения происходит благодаря влиянию СОТС на прочность отделяемого слоя материала, повышение его хрупкости, уменьшение работы, затрачиваемой на стружкообразование.

Интенсивность теплоотвода в основном зависит от вязкости, теплопроводности и скорости движения СОТС, разности температур охлаждаемой поверхности и СОТС. При непрерывных процессах резания СОТС практически не достигает контактных поверхностей в зоне резания, поэтому снижение температуры происходит только в результате охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой детали. Следовательно, интенсивность охлаждения можно повысить за счет высоконапорной подачи СОТС, подачи СОТС со стороны задней поверхности или по специальным каналам, изготовленным в теле инструмента, подачи СОТС в виде тумана. При этом СОТС в виде эмульсии или в виде водных растворов имеют лучшие охлаждающие свойства по сравнению с масляными СОТС.

Моющий эффект – это обеспечение выноса из зоны резания стружки, продуктов изнашивания режущего инструмента и продуктов распада СОТС. Особенно важен этот эффект при выполнении финишных операций.

Неправильное применение СОТС может привести к негативным последствиям (особенно при низких скоростях резания) из-за химического и электрохимического взаимодействия СОТС с поверхностями инструмента, уменьшения защитного действия нароста при черновых операциях.

Сопоставление стойкости инструментов с охлаждением и без такового показывает, что существует пороговая скорость, ниже которой применение СОТС нежелательно. Так, для быстрорежущих инструментов пороговой скоростью является скорость резания 10 м/мин, причем чем больше сечение реза, тем ниже значение пороговой скорости. При применении твердосплавных инструментов пороговой скоростью резания является скорость 80 м/мин при использовании распыленной СОТС и 100 м/мин при использовании охлаждения поливом.

В отечественной промышленности используются масляные и водорастворимые СОТС. Масляные СОТС состоят из минерального масла (60–95 %) и присадок (антифрикционных, антизадириных, антитуманых, ингибиторов коррозии и т. д.). К основным маркам масляных СОТС относятся:

сульфифрезолы – осерненное минеральное масло средней вязкости. Недостатком сульфифрезолов является то, что они вызывают коррозию цветных сплавов и отрицательно воздействуют на человека. Достоинством является только их дешевизна;

МР-1 – средневязкое минеральное масло с антизадириными и антиизносными присадками, содержащими серу, фосфор и хлор; эффективно при обработке углеродистых и легированных сталей со скоростями резания более 40 м/мин;

ОСМ-3 – маловязкое минеральное масло с антизадириными и антиизносными присадками, содержащими фосфор и хлор; эффективно при чистовой обработке углеродистых и легированных сталей.

Водорастворимые СОТС (эмульсолы) содержат 70–85 % минерального масла, эмульгаторы (вещества, облегчающие получение эмульсии) и присадки. Для уменьшения расходов на транспортировку и хранение эти СОТС выпускаются в виде концентрата, который по мере необходимости потребитель разбавляет водой до необходимой концентрации. К основным маркам водорастворимых СОТС относятся:

Э-1, Э-2, Э-3 – эмульсолы с низкими технологическими свойствами; ЭТ-2 имеет лучшие технологические свойства и большую стабильность состава;

«Укринол-1» имеет в составе ингибиторы коррозии, обладает высокими технологическими свойствами, повышает стойкость твердосплавного инструмента (по сравнению с ЭТ-2) в 1,5–2 раза;

РЗ-СОЖ8 – эмульсол на базе ЭТ-2, активированного кристаллическим йодом; эффективен при обработке титановых сплавов.