

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕОРИИ И ПРОЦЕССАХ РЕЗАНИЯ

Применяемые в науке, технике и производстве термины и определения понятий, относящиеся ко всем видам обработки резанием, стандартизированы. Они являются общими для всех видов режущих, алмазных и абразивных материалов и инструментов, а также всех видов обработки резанием и абразивной обработки. Стандартизированными являются также буквенные обозначения кинематических элементов резания, координатных плоскостей и элементов лезвия.

Термины, установленные стандартами, обязательны для применения в документации всех видов в учебной, научно-технической и справочной литературе.

### 2.1. Термины и определения

Термины и определения инструментов режущих приведены в ГОСТ 25751—83, абразивных и алмазных инструментов — в ГОСТ 21445—84 (СТ СЭВ 4403—83) и ГОСТ 14706—78\*. Ниже приведены основные определения инструментов режущих и их разновидностей.

*Режущий инструмент* — инструмент для обработки резанием.

*Лезвие режущего инструмента (Лезвие)*<sup>1</sup> — клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала.

*Передняя поверхность лезвия (Передняя поверхность)* — поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.

*Задняя поверхность лезвия (Задняя поверхность)* — поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями обрабатываемой заготовки.

*Режущая кромка* — кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия.

*Рабочая часть режущего инструмента* — часть режущего инструмента, содержащая лезвия и выглаживатели при их наличии.

<sup>1</sup> В скобках приводится сокращенный термин.

*Крепежная часть режущего инструмента (Крепежная часть)* — часть режущего инструмента для его установки и (или) крепления в технологическом оборудовании или приспособлении.

*Корпус режущего инструмента (Корпус)* — часть режущего инструмента, несущая на себе все его элементы.

*Хвостовик режущего инструмента (Хвостовик)* — крепежная часть режущего инструмента в виде стержня

*Посадочное отверстие режущего инструмента (Посадочное отверстие)* — крепежная часть режущего инструмента в виде поверхности отверстия.

### **Виды режущих инструментов**

*Лезвийный инструмент* — режущий инструмент с заданным числом лезвий установленной формы.

*Абразивный инструмент* — по ГОСТ 21445—81.

*Металлорежущий инструмент* — режущий инструмент для обработки металлов.

*Дереворежущий инструмент* — режущий инструмент для обработки древесины и древесных материалов.

*Дисковый режущий инструмент* — режущий инструмент в форме тела вращения, осевая длина которого меньше его диаметра.

*Цилиндрический режущий инструмент* — режущий инструмент в форме тела вращения, режущие кромки которого расположены на цилиндрической поверхности.

*Конический режущий инструмент* — режущий инструмент в форме тела вращения, режущие кромки которого расположены на конической поверхности.

*Пластинчатый режущий инструмент (Пластинчатый инструмент)* — режущий инструмент в форме пластины.

*Цельный режущий инструмент (Цельный инструмент)* — режущий инструмент, изготовленный из одной заготовки.

*Составной режущий инструмент (Составной инструмент)* — режущий инструмент с неразъемным соединением его частей и элементов, может быть сварным, клееным, паяным.

*Сборный режущий инструмент (Сборный инструмент)* — режущий инструмент с разъемным соединением его частей и элементов.

*Насадной режущий инструмент (Насадной инструмент)* — режущий инструмент с посадочным отверстием.

*Хвостовой режущий инструмент (Хвостовой инструмент)* — режущий инструмент с хвостовиком.

*Ручной режущий инструмент (Ручной инструмент)*

*Машинный режущий инструмент (Машинный инструмент)* — инструмент, используемый в технологическом оборудовании.

*Машинно-ручной режущий инструмент (Машинно-ручной инструмент)* — инструмент, используемый в качестве как ручного, так и машинного режущего инструмента.

*Разжимной режущий инструмент* — инструмент, в котором предусмотрена регулировка размера рабочей части путем ее деформирования.

*Зуборезный инструмент* — режущий инструмент для образования и (или) обработки зубьев.

*Резьбонарезной инструмент* — режущий инструмент для образования и (или) обработки резьбы.

*Инструментальная головка* — сборный режущий инструмент, в котором предусмотрена регулировка размера рабочей части путем перемещения ножей или абразивных брусков.

### ***Лезвийный инструмент и его конструктивные элементы***

*Зуб лезвийного инструмента (Зуб)* — выступ на многолезвийном инструменте, содержащий лезвие.

*Затылованный зуб лезвийного инструмента (Затылованный зуб)* — зуб лезвийного инструмента, форма задней поверхности лезвия которого обеспечивает постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности.

*Незатылованный зуб лезвийного инструмента (Незатылованный зуб)* (Ндп. *Остроконечный зуб, острозаточенный зуб*)<sup>1</sup> — зуб лезвийного инструмента с задней поверхностью, форма которой не обеспечивает постоянства профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности.

*Режущий зуб* — зуб лезвийного инструмента для удаления с заготовки заданного слоя припуска. Если режущие зубья инструмента предназначены для удаления слоев материала с разным сечением срезаемого слоя, то в зависимости от его площади различают черновые, переходные и чистовые зубья.

*Калибрующий зуб лезвийного инструмента (Калибрующий зуб)* — зуб лезвийного инструмента для удаления с заготовки слоя материала, оставшегося после удаления режущими зубьями слоя припуска вследствие упругой деформации заготовки, инструмента, приспособления и станка.

*Выглаживатель лезвийного инструмента (Выглаживатель)* — выступ на лезвийном инструменте для выглаживания.

*Периферийный зуб лезвийного инструмента (Периферийный зуб)* — зуб лезвийного инструмента, выступающий из корпуса в радиальном направлении. Периферийный зуб может быть наружным или внутренним.

*Торцовый зуб лезвийного инструмента (Торцовый зуб)* — зуб лезвийного инструмента, выступающий из корпуса в осевом направлении.

*Винтовой зуб лезвийного инструмента (Винтовой зуб)* — зуб лезвийного инструмента, режущая кромка которого является винтовой линией.

<sup>1</sup> Термины-синонимы, недопустимые к применению, обозначены «Ндп» и приведены в качестве справочных.

*Ленточка лезвия* — сравнительно узкий участок задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями заднего угла по сравнению с основной частью задней поверхности.

*Фалка лезвия* — сравнительно узкий участок передней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями переднего угла по сравнению с основной частью передней поверхности.

*Режущий участок лезвийного инструмента (Режущий участок)* — участок рабочей части лезвийного инструмента, содержащий лезвия.

*Калибрующий участок лезвийного инструмента (Калибрующий участок)* — участок рабочей части лезвийного инструмента, содержащий калибрующие зубья и выглаживатели.

*Режущая пластина* — пластина из инструментального материала с лезвием, являющаяся составной частью лезвийного инструмента.

*Опорная пластина режущего инструмента (Опорная пластина)* — пластина для установки в лезвийном инструменте под режущую пластину в целях уменьшения деформации лезвия при обработке резанием.

*Нож лезвийного инструмента (Нож)* (Ндп. *Вставной зуб*) — зуб лезвийного инструмента, изготовленный отдельно и образующий с корпусом лезвийного инструмента разъемное соединение.

*Секция лезвийного инструмента (Секция)* — элемент лезвийного инструмента, содержащий несколько зубьев, изготовленный отдельно и образующий с корпусом лезвийного инструмента разъемное соединение. Частным случаем секции является сегмент фрезы.

*Стружечная канавка* — канавка между соседними лезвиями инструмента для размещения и отвода стружки. Стружечные канавки лезвийного инструмента могут быть прямыми, наклонными и винтовыми.

*Стружкоразделительная канавка* — канавка на задней поверхности лезвия инструмента поперек режущей кромки для деления стружки на полосы.

*Стружкозавивающая канавка* — канавка на передней поверхности лезвия инструмента для завивания сходящей стружки.

*Стружколом* — созданное на передней поверхности лезвийного инструмента препятствие для ломания стружки. Различают накладной стружколом, стружколомающую канавку и стружколомающий порожек.

### **Виды лезвийных инструментов**

*Стальной режущий инструмент (Стальной инструмент)* — лезвийный инструмент с лезвиями из стали.

*Быстрорежущий инструмент* — стальной режущий инструмент с лезвиями из быстрорежущей стали.

*Твердосплавный режущий инструмент (Твердосплавный инструмент)* — лезвийный инструмент с лезвиями из твердого сплава.

*Минералокерамический режущий инструмент (Минералокерамический инструмент)* — лезвийный инструмент с лезвиями из минералокерамики.

*Однолезвийный инструмент* — лезвийный инструмент для обработки одним лезвием.

*Многолезвийный инструмент* — лезвийный инструмент, лезвия которого расположены в направлении главного движения резания последовательно.

*Периферийный лезвийный инструмент* — лезвийный инструмент с периферийными зубьями.

*Торцовый лезвийный инструмент* — лезвийный инструмент с торцовыми зубьями.

*Периферийно-торцовый лезвийный инструмент.*

*Лезвийный инструмент с механическим креплением пластины* — сборный лезвийный инструмент с разъемным соединением режущей пластины с корпусом или ножом.

*Лезвийный инструмент с напайной пластиной* — лезвийный инструмент, лезвия которого изготовлены напайкой режущей пластины на корпус или нож.

*Лезвийный инструмент с клееной пластиной* — лезвийный инструмент с соединением режущей пластины с корпусом или ножом клеем.

*Инструмент с наплавленным лезвием* — составной лезвийный инструмент, лезвия которого изготовлены наплавкой инструментального материала.

*Комбинированный режущий инструмент* — лезвийный инструмент, представляющий собой сочетание лезвийных инструментов разных видов при общей крепежной части (например, сверло-зенкер, сверло-метчик и др.).

*Праворежущий инструмент* — лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания, направленным по часовой стрелке, если смотреть со стороны крепежной части.

*Леворежущий инструмент* — лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания, направленным против часовой стрелки, если смотреть со стороны крепежной части.

*Ротационный режущий инструмент* — сборный лезвийный инструмент, круглое лезвие которого совершает при обработке вращательное касательное движение резания.

*Профильный лезвийный инструмент* — лезвийный инструмент, форма режущей кромки которого определена формой обработанной поверхности.

*Фасонный лезвийный инструмент (Фасонный инструмент)* — профильный лезвийный инструмент, режущая кромка которого при обработке образует профиль обработанной поверхности одновременно всеми точками режущей кромки.

*Обкатной лезвийный инструмент (Обкатной инструмент)* — профильный лезвийный инструмент, режущая кромка которого

при обработке образует профиль обработанной поверхности как огибающей последовательных положений режущей кромки относительно заготовки.

*Прямозубый режущий инструмент* — многолезвийный инструмент, в котором направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и перпендикулярна к направлению скорости главного движения резания (под направляющей линией передней поверхности понимают линию, по которой движется точка прямой, описывающей эту поверхность).

*Косозубый режущий инструмент* — многолезвийный инструмент, в котором направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и наклонена под углом к направлению скорости главного движения резания.

*Режущий инструмент с винтовым зубом* — многолезвийный инструмент, в котором направляющая линия передней поверхности лезвия является винтовой линией.

*Резец* — однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в любом направлении.

*Фреза* — лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без возможности изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения. Невозможность изменения радиуса траектории главного движения резания отличает однолезвийную фрезу от вращающегося резца.

*Осевой режущий инструмент (Осевой инструмент)* — лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания и движением подачи вдоль оси главного движения резания.

*Сверло* — осевой режущий инструмент для образования отверстия в сплошном материале и (или) увеличения диаметра имеющегося отверстия.

*Зенкер* — осевой режущий инструмент для повышения точности формы отверстия и увеличения его диаметра.

*Развертка* — осевой режущий инструмент для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности.

*Зенковка* (Ндп. *Зенкер-подголовка*) — осевой многолезвийный инструмент для обработки конического входного участка отверстия.

*Цековка* (Ндп. *Торцовый зенкер, Торцовая зенковка, подрезка*) — осевой многолезвийный инструмент для обработки цилиндрического и (или) торцового участка отверстия заготовки.

*Метчик* — осевой многолезвийный инструмент для образования и обработки внутренней резьбы.

*Плашка* — осевой многолезвийный инструмент для образования и обработки наружной резьбы.

*Протяжка* — многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих одно над другим лезвий в направлении, перпендикулярном к направлению скорости главного движения, предназначенный для обработки при поступательном или вращательном главном движении резания и отсутствии движения подачи.

*Ножовочное полотно* — многолезвийный инструмент в виде полосы с рядом зубьев, не выступающих один над другим, предназначенный для отрезания или прорезания пазов при поступательном главном движении резания.

*Напильник* — многолезвийный инструмент с множеством рядов относительно мелких лезвий, работающих при поступательном или вращательном главном движении резания и движении подачи в любом направлении.

*Шевер* — многолезвийный инструмент в виде зубчатых колеса или рейки с лезвиями на боковых поверхностях его зубьев для обработки боковых поверхностей зубьев, при которой для осуществления резания используется относительное скольжение между зубьями инструмента и заготовки в процессе их зацепления.

### **Надежность режущих инструментов**

*Работоспособное состояние режущего инструмента—лезвия (Работоспособность)* — такое состояние, при котором инструмент производит обработку резанием с соблюдением установленных в документации условий и требований. Состояние режущего инструмента характеризуется при этом совокупностью его параметров. К условиям обработки относятся обрабатываемый материал, технологическое оборудование, режим резания, порядок технического обслуживания, восстановления и ремонта. К требованиям обработки относятся допуски размеров, формы и расположения обработанных поверхностей, параметры шероховатости, производительность обработки резанием и др.

*Неработоспособное состояние режущего инструмента—лезвия (Неработоспособность)*.

*Критерий затупления режущего инструмента (Критерий затупления)* — критерий отказа режущего инструмента (лезвия), характеризуемый максимально допустимым значением износа режущего инструмента (лезвия), после достижения которого наступает его отказ. (Износ — величина, характеризующая изменение формы и размеров режущего инструмента вследствие изнашивания при резании.)

*Критерий отказа режущего инструмента (Критерий отказа)* — определяется в зависимости от требований к обработке при выполнении конкретной технологической операции. Например, на операциях предварительной обработки критериями отказа могут быть приняты предельно допустимые значения износа инструмента по задней поверхности лезвия, определенные по условию его рациональной эксплуатации; значения силы резания.

На операциях окончательной обработки, где основными требованиями к обработке являются допуски размеров, формы и расположения обработанных поверхностей, критерием отказа могут быть приняты их предельные допустимые значения. Критерий затупления режущего инструмента — частный случай критерия отказа, характеризуется значением износа инструмента преимущественно по задней поверхности лезвия.

*Отказ режущего инструмента (Отказ); внезапный отказ режущего инструмента (внезапный отказ); постепенный отказ режущего инструмента (постепенный отказ)* — нарушение работоспособного состояния режущего инструмента. Это может быть отклонение от установленных значений хотя бы одного из параметров инструмента, требований или характеристик обработки, выполняемой этим инструментом. К характеристикам обработки относятся температура и сила резания, уровень вибрации и др. Внезапный отказ режущего инструмента, как правило, наступает вследствие его разрушения. Постепенный отказ режущего инструмента наступает после достижения постепенно изменяющимся значением хотя бы одного из его установленных параметров, требований или характеристик обработки критерия отказа.

*Стойкой отказ режущего инструмента—лезвия (Стойкой отказ)* — постепенный отказ режущего инструмента (лезвия), наступающий после достижения им критерия затупления.

*Точностной отказ режущего инструмента—лезвия (Точностной отказ)* — постепенный отказ режущего инструмента (лезвия), наступающий после достижения размером, формой или расположением обработанной поверхности предела поля допуска.

*Восстановление режущего инструмента—лезвия (Восстановление)* — приведение рабочей части режущего инструмента (лезвия) в работоспособное состояние (осуществляется заточкой, заменой лезвия и т. п.).

*Время восстановления режущего инструмента—лезвия.*

*Предельное состояние режущего инструмента—лезвия.*

*Нарботка режущего инструмента—лезвия (Нарботка); наработка между отказами режущего инструмента—лезвия; наработка до отказа режущего инструмента—лезвия* — объем работы режущего инструмента, который может быть выражен интервалом времени, массой или объемом снятого материала, длиной пути резания, площадью обработанной поверхности или числом обработанных заголовков. В зависимости от этого различают временную, массовую, объемную, путевую, поверхностную и штучную наработки. Временная наработка между отказами режущего инструмента может выражаться временем резания, машинным временем, продолжительностью цикла работы автоматического оборудования.

*Ресурс режущего инструмента—лезвия (Ресурс).*

*Назначенная периодичность восстановления режущего инструмента—лезвия (Назначенная периодичность восстановления)* —

наработка режущего инструмента (лезвия), по достижении которой инструмент подлежит восстановлению. Восстановление режущего инструмента осуществляется при отказе или по назначенной периодичности, которая определяется с учетом функционального назначения инструмента, конструктивного исполнения, приспособленности к восстановлению, а также ограничений условий технологической операции (например, обеспечение наибольшей производительности или наименьших приведенных затрат на обработку).

*Период стойкости режущего инструмента (Период стойкости)* — время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа. Время резания — интервал времени, в течение которого инструмент находится в непосредственном контакте с обрабатываемой поверхностью, сопровождающемся снятием стружки. Период стойкости режущего инструмента является частным случаем временной наработки до отказа и между отказами, когда наработка выражена временем резания. Существует связь между периодом стойкости и наработкой между отказами, например, временная наработка между отказами, выраженная машинным временем  $T_m$ , и период стойкости  $T$  связаны зависимостью

$$T_m = T \frac{l_{p. x}}{l_p} = T \frac{t_{p. x}}{t_p},$$

где  $l_{p. x}$  и  $t_{p. x}$  — длина и время рабочего хода инструмента соответственно;  $l_p$  и  $t_p$  — длина и время резания соответственно. Путевая наработка между отказами  $l$  и период стойкости  $T$  связаны зависимостью

$$l = Tv,$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин.

*Полный период стойкости режущего инструмента—лезвия (Полный период стойкости)* (Ндп. *Срок службы*) — сумма периодов стойкости режущего инструмента от начала резания новым инструментом (лезвием) до достижения предельного состояния.

*Безотказность режущего инструмента—лезвия (Безотказность)* — основное свойство, определяющее надежность режущего инструмента.

*Долговечность режущего инструмента—лезвия (Долговечность)* — свойство, определяющее, главным образом, эффективность использования инструмента. Наиболее важна для сложных и дорогостоящих режущих инструментов (червячных фрез, долбяков, протяжек).

*Восстанавливаемость режущего инструмента—лезвия* — свойство режущего инструмента, заключающееся в приспособленности его рабочей части (лезвия), к восстановлению (например, заточкой).

*Надежность режущего инструмента—лезвия (Надежность)* — одно из свойств, обуславливающих качество инструмента, яв-

ляется комплексным свойством, включающим безотказность, долговечность, восстанавливаемость и ремонтпригодность режущего инструмента как в отдельности, так и определенное сочетание этих свойств. Надежность может оцениваться одним или несколькими показателями, характеризующими одно или несколько ее свойств.

*Средняя наработка между отказами режущего инструмента (лезвия)* — математическое ожидание наработки режущего инструмента (лезвия) между отказами.

*Гамма-процентная наработка режущего инструмента (лезвия) до отказа (Гамма-процентная наработка до отказа)* — наработка режущего инструмента (лезвия), в течение которой его отказ не возникает с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

*Относительная гамма-процентная наработка режущего инструмента (лезвия)* — отношение гамма-процентной наработки режущего инструмента (лезвия) к средней наработке между отказами режущего инструмента (лезвия). Нарботка характеризует однородность исходных свойств (например, лезвий, условий обработки), а также эффективность метода управления надежностью режущего инструмента. Как при неизменной средней наработке между отказами  $T$ , так и при ее увеличении, предпочтителен метод, обеспечивающий увеличение относительной гамма-процентной наработки.

*Установленная наработка режущего инструмента (лезвия) (Установленная наработка)* — гамма-процентная наработка, в течение которой режущий инструмент не достигнет отказа с установленной вероятностью  $\gamma = 100\%$ .

*Средний период стойкости режущего инструмента (лезвия) (Средний период стойкости)* — математическое ожидание значения периода стойкости режущего инструмента (лезвия).

*Гамма-процентный период стойкости режущего инструмента—лезвия (Гамма-процентный период стойкости)* — время резания режущего инструмента (лезвия), в течение которого он не достигнет отказа с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

*Относительный гамма-процентный период стойкости режущего инструмента (лезвия)* — отношение гамма-процентного периода стойкости режущего инструмента (лезвия) к среднему периоду стойкости режущего инструмента (лезвия).

*Установленный период стойкости режущего инструмента—лезвия (Установленный период стойкости)* — гамма-процентный период стойкости, в течение которого режущий инструмент не достигнет отказа с установленной вероятностью  $\gamma = 100\%$ .

*Полный средний период стойкости режущего инструмента—лезвия (Полный средний период стойкости)* — математическое ожидание полного периода стойкости режущего инструмента (лезвия).

Управление надежностью режущего инструмента — целесообразное изменение показателей надежности режущего инструмента при неизменной средней наработке между отказами или при ее увеличении. Управление надежностью предусматривает действия, направленные на изменение параметров инструмента, характеристик и условий обработки.

Управление надежностью режущего инструмента при неизменной средней наработке между отказами  $T$  достигается за счет следующих мероприятий:

увеличения вероятности безотказной работы при заданной наработке  $t_1$ , т. е.  $P_2(t_1) > P_1(t_1)$ , где  $P_1(t)$  — исходная функция вероятности безотказной работы;

увеличения наработки при заданной вероятности безотказной работы, т. е.  $t_2 > t_1$  при  $P_3(t_2) = P_1(t_1) = P$  (рис. 2.1). При увеличении средней наработки между отказами  $T_2$  достигается одновременное увеличение гамма-процентной наработки  $T_{P(3)} > T_{P(1)}$  с заданной вероятностью безотказной работы для любых значений  $t$ , т. е.  $P_3(t) > P_1(t)$ .

При сочетании указанных методов управления надежностью инструмента безотказность последнего характеризуется функцией  $P_4(t)$ , как показано на рисунке. Это достигается, например, централизованной заточкой лезвий, регулированием параметров режима резания в течение назначенной средней наработки между отказами  $T_2$  и т. д.

**Резервирование режущего инструмента (Резервирование)** — повышение показателей надежности режущего инструмента; может быть достигнуто за счет введения избыточных элементов рабочей или крепежной частей.

Термины и определения видов обработки резанием и абразивной обработки приведены в ГОСТ 25761—83, ГОСТ 25762—83 и ГОСТ 23505—79. Перечислим некоторые основные определения.

### Общие понятия

**Обработка резанием (Резание)** — по ГОСТ 3.1109—82\*.

**Стружка** — деформированный и отделенный в результате обработки резанием поверхностный слой материала заготовки (рис. 2.2).

**Режущий инструмент** — по ГОСТ 25751—83.

**Режим резания** — совокупность значений скорости резания, подачи или скорости движения подачи и глубины резания.

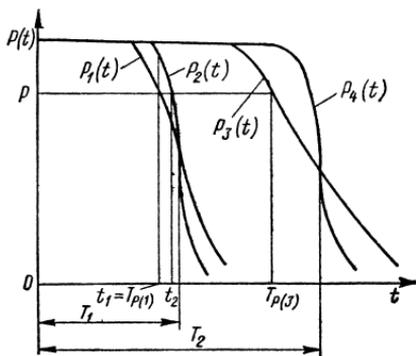


Рис. 2.1. Зависимость вероятности безотказной работы и наработки инструмента

## Кинематические элементы и характеристики резания

Главное движение резания (Главное движение)  $D_v$  — прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. Главное движение резания может входить в состав сложного формообразующего движения (например, при точении резьбы).

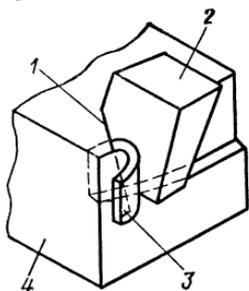


Рис. 2.2. Схема обработки резанием:

1—режущая кромка; 2—лезвие;  
3—стружка; 4—заготовка

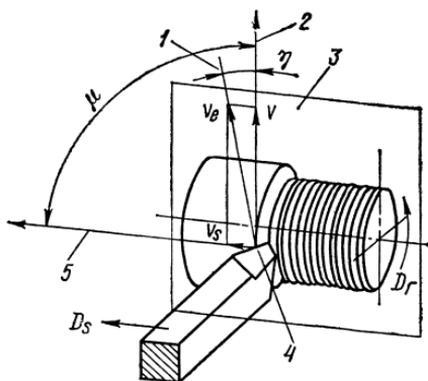


Рис. 2.3. Элементы движений при обтачивании:

1, 2 — направление скоростей результирующего и главного движений соответственно; 3 — рабочая плоскость; 4 — рассматриваемая точка режущей кромки; 5 — направление скорости движения подачи

Скорость главного движения резания  $v$  — скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания (рис. 2.3—2.7).

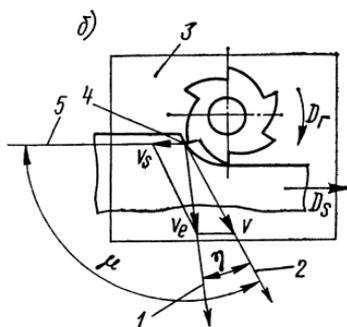
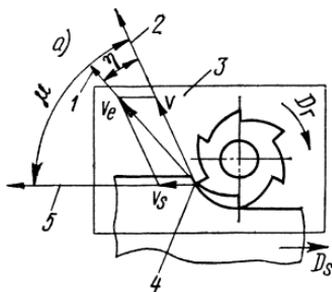


Рис. 2.4. Элементы движений при периферийном фрезеровании:

1—5 — то же, что и для рис. 2.3

Движение подачи (Ндп. Подача)  $D_s$  — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

**Примечания:** 1. Обрабатываемая поверхность — поверхность заготовки, частично или полностью удаляемая при обработке (см. рис. 2.2—2.7). 2. Обработанная поверхность — поверхность, образованная на заготовке в результате обработки.

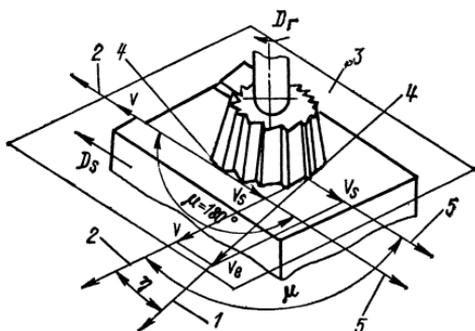


Рис. 2.5. Элементы движений при фрезеровании концевой угловой фрезой:  
1—5 — то же что и для рис. 2.3

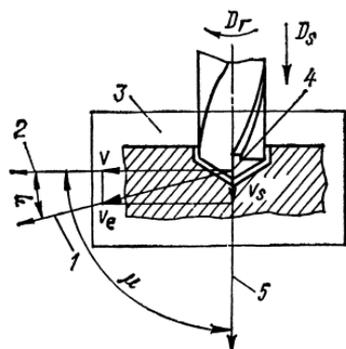


Рис. 2.6. Элементы движений при сверлении:  
1—5 — то же, что и для рис. 2.3

3. Движение подачи может быть непрерывным или прерывистым, т. е. происходящим в перерывах процесса резания. 4. Движение подачи может входить в состав сложного формообразующего

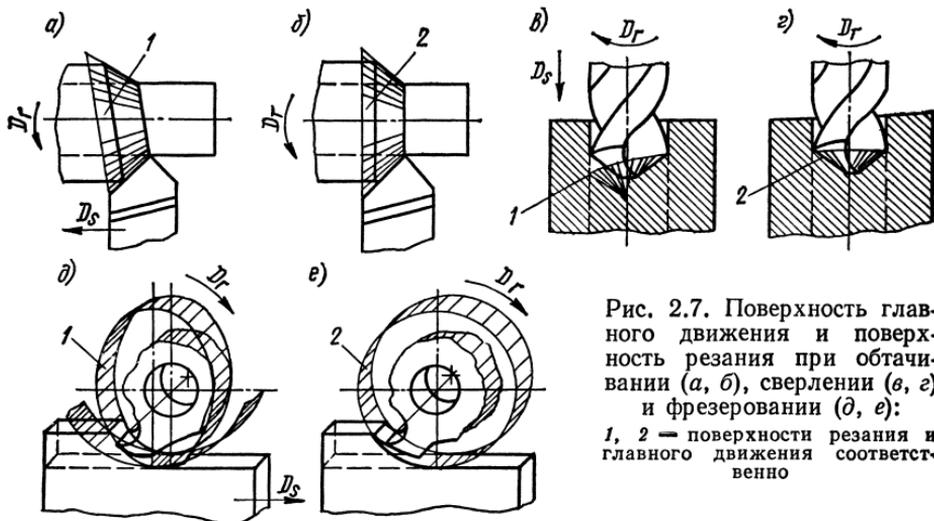


Рис. 2.7. Поверхность главного движения и поверхность резания при обтачивании (а, б), сверлении (в, г) и фрезеровании (д, е):  
1, 2 — поверхности резания и главного движения соответственно

движения (например, при шлифовании резьбы). 5. В зависимости от направления движения подачи различают следующие движения подачи: продольное, поперечное и др.

Скорость движения подачи (Скорость подачи)  $v_s$  — скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи (см. рис. 2.3—2.6).

*Подача S* — отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей цикла другого движения во время резания или к числу определенных долей цикла этого другого движения.

**Примечания:** 1. Цикл движения — полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. Доля цикла — часть оборота, соответствующая угловому шагу зубьев режущего инструмента. 2. Ход — движение в одну сторону при возвратно-поступательном движении.

*Подача на оборот  $S_0$*  — подача, соответствующая одному обороту инструмента или заготовки.

*Подача на зуб  $S_z$*  — подача, соответствующая повороту инструмента или заготовки на один угловой шаг зубьев режущего инструмента.

*Подача на ход  $S_x$*  — подача, соответствующая одному ходу заготовки или инструмента.

*Подача на двойной ход  $S_{2x}$*  — подача, соответствующая одному двойному ходу заготовки или инструмента.

*Касательное движение  $D_k$*  — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента, скорость которого меньше скорости главного движения резания и направлена по касательной к режущей кромке; предназначено для того, чтобы сменять контактирующие с заготовкой участки режущей кромки.

*Скорость касательного движения* — скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в касательном движении.

*Результирующее движение резания (Результирующее движение)  $D_e$*  — суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение резания, движение подачи и касательное движение.

*Скорость результирующего движения резания  $v_l$*  — скорость рассматриваемой точки режущей кромки в результирующем движении резания (см. рис. 2.3—2.6).

*Путь резания  $l$*  — суммарное расстояние, пройденное рассматриваемой точкой режущей кромки в контакте с заготовкой за рассматриваемый интервал времени и измеренное вдоль траектории этой точки в результирующем движении резания.

*Поверхность резания  $R$*  — поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении резания (см. рис. 2.7).

*Поверхность главного движения  $R_g$*  — поверхность, образуемая режущей кромкой в главном движении резания (см. рис. 2.7).

*Рабочая плоскость  $P_s$*  — плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи (см. рис. 2.3—2.6).

**Примечания:** 1. В случаях, когда в отдельные моменты времени направления скоростей главного движения резания и движения подачи совпадают (тангенциальное точение, периферийное фрезерование), рабочая плоскость проводится так же, как и в предыдущий или последующий моменты, когда эти направления не совпадают. 2. При протягивании, когда отсутствует движение подачи, рабочая плоскость проводится через направление скорости главного движения резания и направление подъема последовательно расположенных зубьев режущего инструмента.

*Угол скорости резания  $\eta$*  — угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания и главного движения резания (см. рис. 2.3—2.6).

*Угол подачи  $\mu$*  — угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей движения подачи и главного движения резания.

### ***Системы координатных плоскостей и координатные плоскости***

*Инструментальная система координат (ИСК)* — прямоугольная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу (рис. 2.8—2.9). Применяется для изготовления и контроля инструмента.

*Статическая система координат (ССК)* — прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания (рис. 2.8—2.13). Применяется для приближенных расчетов углов лезвия в процессе резания и для учета изменения этих углов после установки инструмента на станке. Она является в общем случае переходной системой от инструментальной системы координат к кинематической.

*Кинематическая система координат (КСК)* — прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания (см. рис. 2.8—2.13).

*Основная плоскость  $P_v$*  — координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно к направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

**Примечание.** В инструментальной системе координат направление скорости главного движения резания у токарных и строгальных резцов прямоугольного поперечного сечения принимается перпендикулярно к конструкторской установочной базе резца, у долбежных резцов — параллельно базе, у дисковых токарных резцов, осевых инструментов и фрез — по касательной к траектории вращательного движения инструмента или заготовки, у протяжек — параллельно конструкторской установочной базе

или оси протяжки, у долбяков — параллельно оси хвостовика или оси посадочного отверстия долбяка.

*Инструментальная основная плоскость  $P_{ои}$*  — основная плоскость инструментальной системы координат.

*Статическая основная плоскость  $P_{вс}$*  — основная плоскость статической системы координат.

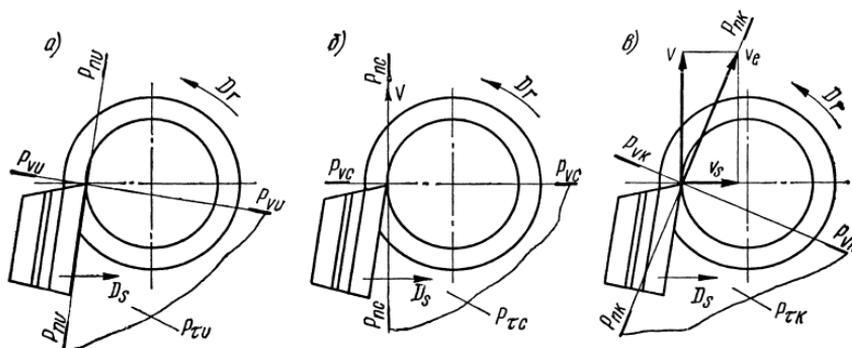


Рис. 2.8. Координатные плоскости и системы координат при фасонном точении: а—в — инструментальная, статическая и кинематическая системы координат соответственно

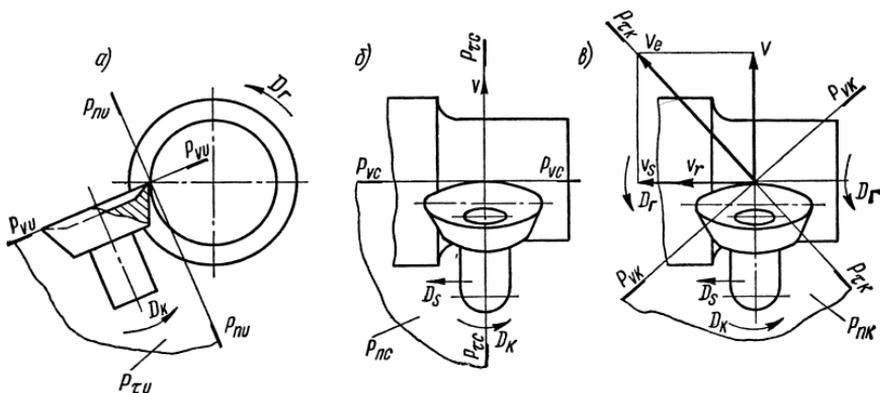


Рис. 2.9. Координатные плоскости и системы координат при ротационном точении: а—в — то же, что и для рис. 2.8

*Кинематическая основная плоскость  $P_{вк}$*  — основная плоскость кинематической системы координат.

*Плоскость резания  $P_n$*  — координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к основной плоскости.

*Инструментальная плоскость резания  $P_{ни}$*  — координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к инструментальной основной плоскости.



Статическая плоскость резания  $P_{nc}$  — координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к статической основной плоскости.

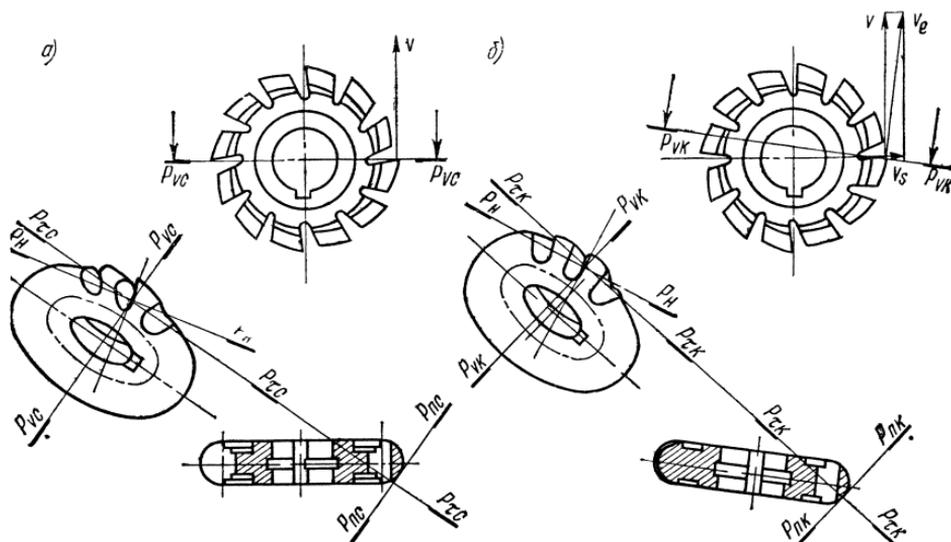


Рис. 2.12. Фасонное фрезерование: а, б — то же, что и для рис. 2.10

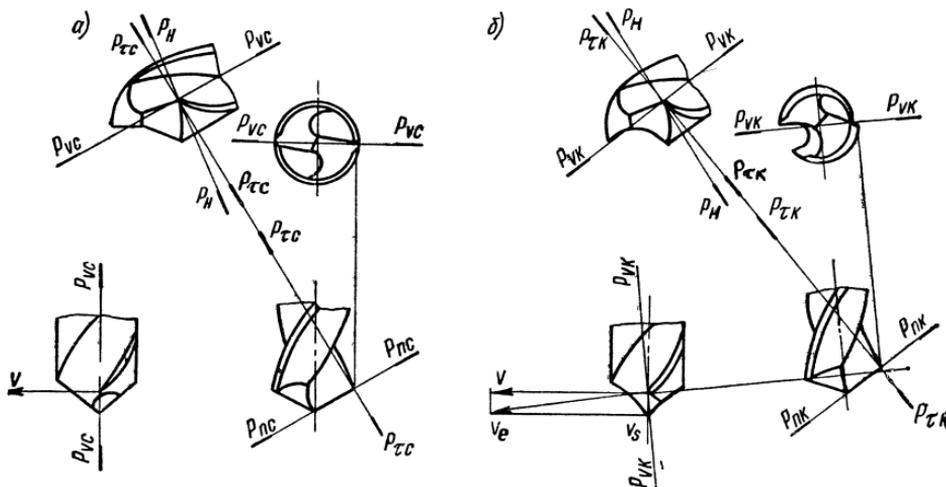


Рис. 2.13. Сверление. Координатные плоскости: а, б — то же, что и для рис. 2.10

Кинематическая плоскость резания  $P_{nk}$  — координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к кинематической основной плоскости.

Главная секущая плоскость  $P_{\tau}$  — координатная плоскость, перпендикулярная к линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

*Инструментальная главная секущая плоскость  $P_{ти}$*  — координатная плоскость, перпендикулярная к линии пересечения инструментальной основной плоскости и плоскости резания.

*Статическая главная секущая плоскость  $P_{тс}$*  — координатная плоскость, перпендикулярная к линии пересечения статических основной плоскости и плоскости резания.

*Кинематическая главная секущая плоскость  $P_{тк}$*  — координатная плоскость, перпендикулярная к линии пересечения кинематических основной плоскости и плоскости резания.

*Нормальная секущая плоскость  $P_{н}$*  — плоскость, перпендикулярная к режущей кромке в рассматриваемой точке.

*Секущая плоскость схода стружки  $P_{с}$*  — плоскость, проходящая через направления схода стружки (см. характеристику стружки) и скорости резания в рассматриваемой точке режущей кромки.

### *Элементы и характеристики срезаемого слоя и стружки*

*Сечение срезаемого слоя (Сечение слоя)* — фигура, образованная при рассечении слоя материала заготовки, отделяемого лезвием за один цикл главного движения резания основной плоскостью.

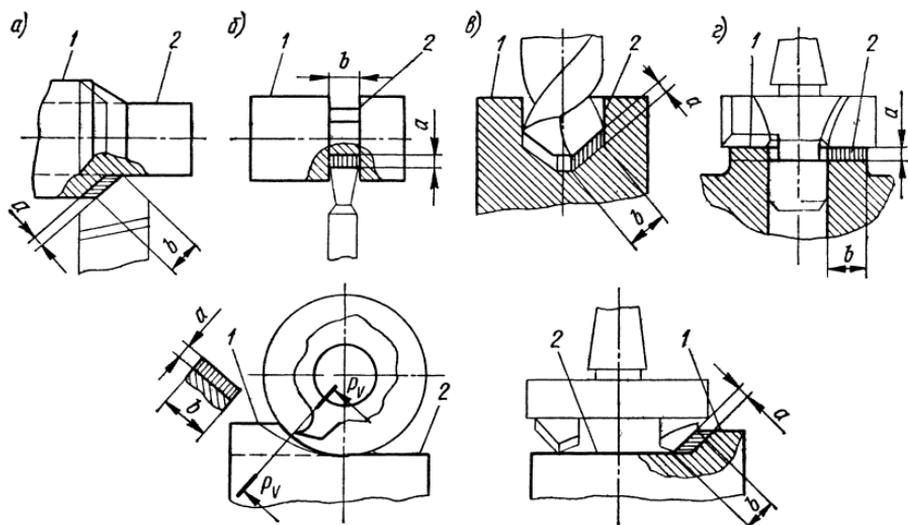


Рис. 2.14. Сечение срезаемого слоя:  
1, 2 — обрабатываемая и обработанная поверхности

**Примечание.** В каждом конкретном случае следует дополнительно указывать систему координатных плоскостей, в которой рассматривается сечение срезаемого слоя.

*Площадь срезаемого слоя (Площадь среза)  $f$*  — площадь сечения срезаемого слоя.

*Толщина срезаемого слоя (Толщина среза)  $a$*  — длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя (Ширина среза)  $b$  — длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания (рис. 2.14).

### Элементы лезвия

Передняя поверхность лезвия (Передняя поверхность)  $A_v$  — поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой (рис. 2.15—2.18).

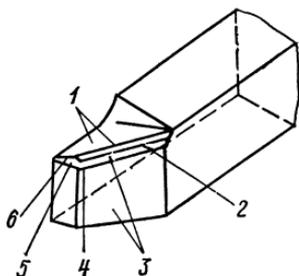


Рис. 2.15. Геометрические элементы токарного резца:

1 — передняя поверхность лезвия; 2 — главная режущая кромка; 3 — главная задняя поверхность лезвия; 4 — вершина лезвия; 5 — вспомогательная задняя поверхность лезвия; 6 — вспомогательная режущая кромка

Задняя поверхность лезвия (Задняя поверхность)  $A_\alpha$  — поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки.

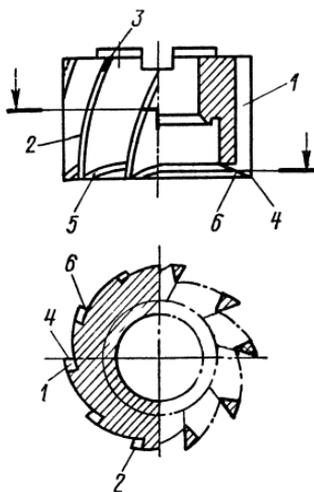


Рис. 2.16. Геометрические элементы цилиндрической фрезы:

1—4, 6 — то же, что и для рис. 2.15

Режущая кромка  $K$  — кромка лезвия инструмента, образуемая

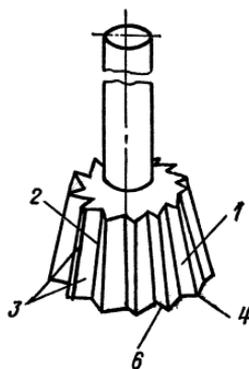


Рис. 2.17. Геометрические элементы, концевой угловой фрезы:

1—4, 6 — то же, что и для рис. 2.15

пересечением передней и задней поверхностей лезвия.

Главная режущая кромка  $K$  — часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя.

Вспомогательная режущая кромка  $K'$  — часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя.

*Главная задняя поверхность*  $A_\alpha$  — задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке.

*Вспомогательная задняя поверхность*  $A'_\alpha$  — задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке.

*Радиус округления режущей кромки*  $\rho$  — радиус кривизны режущей кромки в сечении ее нормальной секущей плоскостью.

*Вершина лезвия (Вершина)* — участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей.

Пр и м е ч а н и е. У проходного токарного резца вершиной является участок лезвия в месте пересечения главной и вспомогательной режущих кромок, у резьбового резца — участок лезвия, формирующий внутреннюю поверхность резьбы, у сверла — точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок.

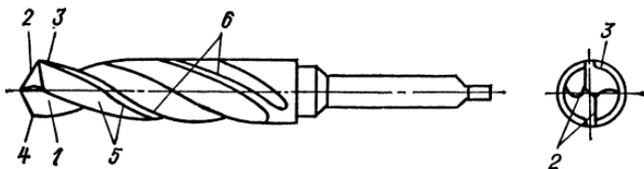


Рис. 2.18. Геометрические элементы сверла;

1—6 — то же, что и для рис. 2.14

*Радиус вершины*  $r_v$  — радиус кривизны вершины лезвия.

*Передний угол*  $\gamma$  — угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью (рис. 2.19—2.22).

*Нормальный передний угол*  $\gamma_n$  — передний угол в нормальной секущей плоскости.

*Главный передний угол*  $\gamma$  — передний угол в главной секущей плоскости.

*Инструментальный главный передний угол*  $\gamma_{ин}$  — угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и инструментальной основной плоскостью.

*Статический главный передний угол*  $\gamma_c$  — угол в статической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и статической основной плоскостью.

*Кинематический главный передний угол*  $\gamma_{кн}$  — угол в кинематической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью.

*Рабочий кинематический передний угол*  $\gamma_p$  — угол в секущей плоскости схода стружки между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью.

*Задний угол*  $\alpha$  — угол в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

*Нормальный задний угол*  $\alpha_n$  — задний угол в нормальной секущей плоскости.

*Главный задний угол*  $\alpha$  — задний угол в главной секущей плоскости.





*Рабочий кинематический задний угол  $\alpha_p$*  — угол в рабочей плоскости между задней поверхностью лезвия и направлением скорости результирующего движения резания в рассматриваемой точке режущей кромки.

*Угол заострения  $\beta$*  — угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

*Нормальный угол заострения  $\beta_n$*  — угол заострения в нормальной секущей плоскости.

*Главный угол заострения  $\beta$*  — угол заострения в главной секущей плоскости.

*Инструментальный главный угол заострения  $\beta_n$*  — угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

*Статический главный угол заострения  $\beta_0$*  — угол в статической главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

*Кинематический главный угол заострения  $\beta_k$*  — угол в кинематической главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

*Угол наклона кромки  $\lambda$*  — угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

*Инструментальный угол наклона кромки  $\lambda_n$*  — угол в инструментальной плоскости резания между режущей кромкой и инструментальной основной плоскостью.

*Статический угол наклона кромки  $\lambda_0$*  — угол в статической плоскости резания между режущей кромкой и статической основной плоскостью.

*Кинематический угол наклона кромки  $\lambda_k$*  — угол в кинематической плоскости резания между режущей кромкой и кинематической основной плоскостью.

*Угол в плане  $\varphi$*  — угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

*Инструментальный угол в плане  $\varphi_n$*  — угол в инструментальной основной плоскости между инструментальной плоскостью резания и рабочей плоскостью.

*Статический угол в плане  $\varphi_0$*  — угол в статической основной плоскости между статической плоскостью резания и рабочей плоскостью.

*Кинематический угол в плане  $\varphi_k$*  — угол в кинематической основной плоскости между кинематической плоскостью резания и рабочей плоскостью.

*Рабочий кинематический угол в плане  $\varphi_p$*  — угол между режущей кромкой и рабочей плоскостью.

### **Характеристики стружки**

*Коэффициент утолщения стружки (Коэффициент утолщения)  $K_a$*  — отношение толщины стружки к толщине срезаемого слоя.

*Коэффициент уширения стружки (Коэффициент уширения)*  $K_b$  — отношение ширины стружки к ширине срезаемого слоя.

*Коэффициент укорочения стружки*  $K_l$  — отношение длины срезаемого слоя к длине стружки.

*Направление схода стружки* — направление движения стружки в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия.

*Угол схода стружки*  $\nu$  — угол в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия, между направлением схода стружки и следом главной секущей плоскости.

### **Сила резания**

*Сила резания*  $P$  — равнодействующая сил, действующих на режущий инструмент при обработке резанием.

*Главная составляющая силы резания*  $P_z$  — составляющая силы резания, совпадающая по направлению со скоростью главного движения резания в вершине лезвия.

*Касательная составляющая силы резания* (Ндп. *Тангенциальная составляющая силы резания*) — главная составляющая силы резания при вращательном главном движении резания.

*Осевая составляющая силы резания*  $P_x$  — составляющая силы резания, параллельная оси главного вращательного движения резания.

*Радиальная составляющая силы резания*  $P_y$  — составляющая силы резания, направленная по радиусу главного вращательного движения резания в вершине лезвия.

## **2.2. Особенности процесса резания и изнашивания инструмента**

**Стружкообразование.** Процесс резания сопровождается внедрением режущего лезвия в заготовку под действием силы резания и отделением стружки. При обработке хрупких материалов отделение стружки происходит в плоскости сдвига. Стружка при этом называется стружкой надлома (см. рис. 2.23, *а*).

При обработке пластичных материалов стружка может быть сливной, суставчатой или элементной (рис. 2.23, *б, в, г*), отделение ее осуществляется в процессе пластического течения. Элементная стружка образуется при обработке с малыми скоростями резания, большой толщиной среза и малыми передними углами. Между формой стружки и степенью деформации  $\epsilon$  диаграммы напряжение—деформация отмечена определенная зависимость (рис. 2.23, *д*).

Контуры пластической зоны при сливной стружке показаны на рис. 2.24. Зона вторичных деформаций стружки ограничена глубиной  $a_2$ . Относительная деформация в ней значительно (до 20 раз) превышает среднюю деформацию слоев стружки. Величина  $a_2 \approx 0,1a_1$ ; *ODE* — граница начала пластической деформации; *FHC* — граница области стружки, в которой заканчивается

деформация. Перед зоной *ODEF* металл упруго деформирован. Толщина деформированного слоя  $a_3$  обработанной поверхности зависит от свойств обрабатываемого материала и нагрузки. Деформация стружки осуществляется во всех направлениях, однако уширение стружки обычно незначительно и поэтому выделяют

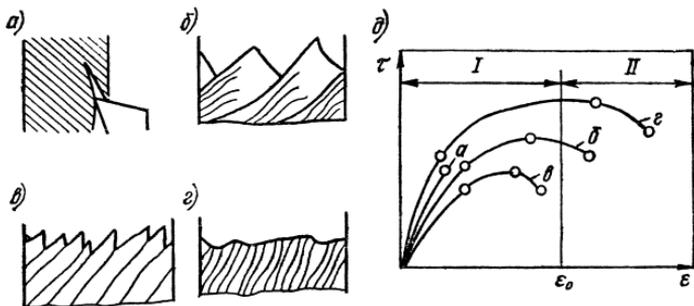


Рис. 2.23. Форма стружки и ее зависимость от относительной деформации [61]

1 — область образования стружек: надлома (а), суставчатой (б) и элементной (в); 2 — область образования сливной стружки (г)

коэффициенты утолщения  $K_a = a_1/a$  и укорочения стружки  $K_l = L/L_c$ , причем  $L_c a_1 = La$ , где  $L$  — длина пути, пройденного резцом;  $L_c$  — длина снятой стружки.

Длина пластического контакта стружки с передней поверхностью  $c_1 \approx (0,3 \div 0,8) c$ .

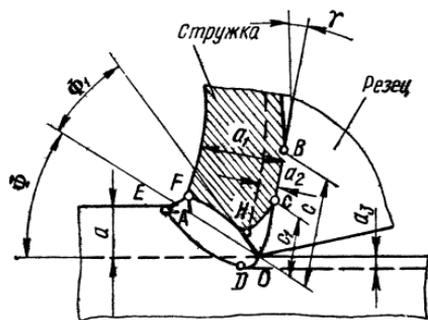


Рис. 2.24. Зона образования сливной стружки (*ODEF* — зона основных сдвиговых деформаций; *ОНС* — зона вторичных деформаций;  $a$  — толщина срезаемого слоя;  $a_1$  — толщина стружки;  $a_2$  — глубина контактного слоя стружки;  $a_3$  — толщина деформированного слоя обработанной поверхности;  $c_1$  — длина пластического контакта стружки;  $c$  — длина контакта инструмент—стружка;  $\Phi_1$  — угол сдвига;  $\Phi$  — угол скальвания; *HO* — условная плоскость сдвига;  $C-C_1$  — зона упругого контакта стружки при трении о переднюю поверхность)

Плоскость скальвания *OA* — плоскость, в которой касательные напряжения в каждой точке максимальны. Угол скальвания  $\Phi$  определяет положение плоскости *OA*. Угол  $\Phi$  зависит от значений коэффициента утолщения стружки  $K_a$  и переднего угла  $\gamma$ :

$$\operatorname{tg} \Phi = \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma).$$

Замеряя толщину стружки и зная угол  $\gamma$  и толщину срезаемого слоя  $a$ , можно определить значения  $K_a$  и угла  $\Phi$ .

Угол скалывания, а также коэффициент утолщения для пластичных материалов рассчитывают по формулам:

$$\Phi = (20 \div 25) + \gamma; \quad K_a = \sin \gamma + \cos \gamma / (0,364 \div 0,466) - \frac{\pi}{4} + \gamma.$$

Степень деформации металла при стружкообразовании определяется относительным сдвигом  $\varepsilon$

$$\varepsilon = (K_a^2 - 2K_a \sin \gamma + 1) K_a \cos \gamma.$$

Величиной  $\varepsilon$  определяется и характер стружкообразования (см. рис. 2.23). При сливной стружке плоскость скалывания отсутствует. Деформация слоев стружки (их сдвиг) не совпадает с плоскостью скалывания, а осуществляется в направлении плоскости сдвига под углом  $\Phi_1$ , превышающего угол  $\Phi$  обычно на  $30^\circ$ . В направлении плоскости скалывания зерна металла имеют вытянутую форму.

По размерам и форме стружка может быть лентообразной (прямой и путаной), винтовой длинной или короткой, плоской спиральной, элементной дробленой.

Степень дробления каждого из этих видов стружки различна и определяется объемным коэффициентом  $\omega$ , равным отношению объема стружки к объему сплошного металла такой же массы, как стружка. Удовлетворительной (с точки зрения отвода) формой считается винтовая длинная ( $\omega = 50 \div 80$ ), элементная дробленая ( $\omega = 3 \div 6$ ), винтовая короткая ( $\omega = 25 \div 45$ ), плоская спиральная ( $\omega = 8 \div 15$ ), неудовлетворительной — лентообразная прямая и путаная ( $\omega \geq 90$ ).

При образовании лентообразной винтовой длинной и элементной дробленой стружки необходимо принимать меры для защиты от нее зоны обслуживания (особенно при токарной обработке). Отвод и транспортировка из зоны резания лентообразной и винтовой стружки затруднены; отвод спиральной плоской стружки происходит на переднюю поверхность и державку, что может повлечь за собой их поломку или повреждения. Очевидно, что формой и размерами стружки необходимо управлять. Это обеспечивается за счет естественного дробления при надлежащем выборе режимов резания, геометрии режущего инструмента, обрабатываемого материала (например сталей, содержащих серу, свинец) и других условий обработки или за счет искусственного дробления с помощью экранов, кинематических способов, наложением автоколебаний, созданием систем пульсирующего подвода СОЖ и т. д.

**Силы, возникающие при резании, и мощность.** При рассмотрении процесса резания действительная сила резания заменяется результирующей силой резания  $P$ , которая раскладывается на три вектора, расположенных в трех перпендикулярных плоскостях:  $P = P_z + P_x + P_y$ ;  $P_z$  — главная касательная составляющая, действующая в направлении оси  $z$  и определяющая мощность

2.1. Значения удельной силы резания  $k_s$ , показателя степени  $z$  и множителя  $a^{1-z}$  при точении некоторых материалов [73]

| Обрабатываемый материал и его характеристика | z    | $k_s$ , МПа, при $a$ , мм, равном              |      |      |      | $a^{1-z}$ , мм, при $a$ , мм, равном |      |      |      |
|--|------|--|------|------|------|--------------------------------------|------|------|------|
|  |      | 1  | 0,63 | 0,25 | 0,1  | 1                                    | 0,63 | 0,25 | 0,1  |
|  |      | Сталь углеродистая с $\sigma_B$ , МПа, равной: |      |      |      |                                      |      |      |      |
| 500  | 0,26 | 1990   | 2440 | 2830 | 3610 | 1                                    | 0,71 | 0,36 | 0,18 |
| 600  | 0,17 | 2110   | 2270 | 2620 | 3080 | 1                                    | 0,68 | 0,31 | 0,15 |
| Чугун:                                       |      |  |      |      |      |                                      |      |      |      |
| НВ 116                                       | 0,38 | 550  | 660  | 960  | 1300 | 1                                    | 0,75 | 0,42 | 0,24 |
| НВ 200                                       | 0,26 | 1160   | 1300 | 1660 | 2110 | 1                                    | 0,72 | 0,36 | 0,18 |

Примечание. Табличные значения приведены для клина с передним углом  $6^\circ$ . При увеличении угла клина на один градус удельная сила резания уменьшается на 1—2%. При отношении  $b/a \geq 5$  удельная сила резания остается постоянной.

резания;  $P_x$  — осевая составляющая, действующая в направлении оси  $x$  и определяющая силу осевой подачи;  $P_y$  — радиальная составляющая, действующая в направлении оси  $y$ , определяющая силу поперечной подачи и в значительной степени влияющая на вибрации и устойчивость процесса обработки. Указанные составляющие рассчитывают по формулам:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}}; \quad P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}}; \quad P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}},$$

где  $C_{P_z}$ ,  $C_{P_x}$ ,  $C_{P_y}$  — комплексные постоянные, отражающие влияние обрабатываемого материала, геометрии инструмента и условий обработки соответственно.

Составляющую  $P_z$ , Н, можно определить через удельную силу резания  $k_s$  и сечение срезаемого слоя

$$P_z = ba^{1-z}k_s.$$

Значения удельной силы резания  $k_s$  и множителя  $a^{1-z}$  при точении некоторых материалов приведены в табл. 2.1.

Составляющие  $P_y$  и  $P_x$  для различных видов инструмента могут быть определены в зависимости от  $P_z$  и условий обработки. Так, при точении резцами с  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0$ ,  $\gamma = 15^\circ$   $P_y \approx (0,4 \div \div 0,5) P_z$ , а  $P_x \approx (0,3 \div 0,4) P_z$ . При затуплении резцов значения  $P_y$  и  $P_z$  возрастают.

Влияние отдельных параметров на силы резания различно. Так, размер угла  $\alpha$  не оказывает существенного влияния на силы резания. При изменении же угла  $\gamma$  сила  $P_z$  изменяется на 1—2% на каждый градус изменения  $\gamma$ . Угол  $\varphi$  также значительно влияет как на силу  $P_z$  в связи с изменением формы и размеров стружки ( $a$  и  $b$ ), так и на соотношение сил  $P_x$  и  $P_y$ . Угол  $\lambda$  оказывает незначительное влияние главным образом на составляющие

щую  $P_y$ . Скорость резания для твердосплавного инструмента в диапазоне значений 80—7000 м/мин также оказывает значительное влияние на силы резания.

При обработке деталей инструментом из быстрорежущих сталей силы резания превышают силы резания при обработке твердосплавным инструментом, и при их расчете необходимо учитывать влияние скорости резания. Затупление инструмента (его износ) также увеличивает силы резания. Влияние отдельных параметров на силы резания учитывается поправочными коэффициентами. К ним относятся  $k_v$ ,  $k_m$ ,  $k_\phi$ ,  $k_\gamma$ ,  $k_\lambda$  — учитывающие влияние скорости резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, углов  $\phi$ ,  $\gamma$  и  $\lambda$ .

С учетом коэффициентов формула для  $P_z$  примет вид

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^z k_m k_\phi k_\gamma k_\lambda.$$

Мощность  $N_0$ , кВт, затрачиваемая на резание со скоростью  $v$ , м/мин, или частотой вращения  $n$ , об/мин, равна

$$N_0 = \frac{P_z v}{60 \cdot 1020}; \quad N_0 = \frac{M_{кр} n}{974},$$

где  $M_{кр}$  — крутящий момент, даН·м.

Кроме приведенных эмпирических зависимостей, расчет  $P_z$  при обработке материалов, дающих сливную стружку, можно произвести чисто теоретически, на основе механических характеристик обрабатываемого материала и режимов резания ( $s$  и  $t$  или  $a$  и  $b$ )

$$P_z = \sqrt{2} ab \sigma_b (1 + k_\tau \delta) \cos \left( \frac{\pi}{4} - \Phi \right) / \sin \Phi,$$

где  $k_\tau = 1$  при  $\delta \leq 0,06$  и при  $\delta > 0,06$ , когда  $\psi = \delta$ ;  $k_\tau = 0,5$  и  $0,8$  при  $\delta > 0,06$  и  $\psi \geq (1,5 \div 2) \delta$ ;  $k_\tau = 0,9$  при  $\delta > 0,06$  и  $\psi \approx (1,2 \div 1,5) \delta$ ;  $\delta$  и  $\psi$  — относительные удлинение и сужение соответственно в относительных единицах);  $\Phi$  — угол скальвания.

Угол скальвания  $\Phi$  упрощенно можно рассчитать по приведенной выше формуле, которая не учитывает тепловых процессов, происходящих в зоне резания. С учетом этих процессов угол  $\Phi$  (при условии, что температура в плоскости сдвига  $200^\circ\text{C} < \Theta_{сдв} < 600^\circ\text{C}$ , а на передней поверхности  $650^\circ\text{C} < \Theta_{п} < 1200^\circ\text{C}$ ) можно рассчитать по формуле

$$\Phi = \arccos \left[ (1 - 0,5 \cdot 10^{-3} \Theta) \frac{1}{\sqrt{2}} \right] - \frac{\pi}{4} + \gamma.$$

Здесь  $\Theta$  — температура резания,  $^\circ\text{C}$ ,  $\Theta = 0,6 \Theta_{п} \left( \frac{\lambda}{\lambda_{п}} \right)^{0,13} \times \left( \frac{C_v}{C_{ви}} \right)^{0,2} \frac{m^{0,27}}{(1 + \delta)^{0,05}}$ , где  $\Theta_{п}$  — температура потери режущих свойств инструмента (для твердых сплавов это температура плавления кобальта  $1490^\circ\text{C}$ );  $C_v$ ,  $C_{ви}$  — удельные объемные

теплоемкости обрабатываемого и инструментального материалов соответственно;  $\lambda$ ,  $\lambda_{и}$  — коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов соответственно;  $\delta$  — относительное удлинение, %;  $m$  — коэффициент, равный 0,925 для углеродистых, 0,97 — хромомолибденовых и хромовольфрамовых, 0,8 — хромистых и инструментальных, 1,3 — коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, 0,6—0,7 — для титановых сплавов и 1,1 — жаропрочных сплавов на никелевой основе.

**Тепловые процессы при резании.** Тепловыделение при резании связано с процессами упруго-пластических деформаций, трением по передним и задним поверхностям инструмента, образованием новых поверхностей (работа диспергирования). Количество тепла, выделяемого при резании в единицу времени, равно

$$Q = P_z v / 5,6.$$

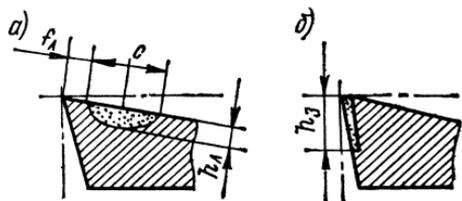


Рис. 2.25. Виды износа режущего клина

Интенсивность тепловыделения в разных зонах различна. Наибольшая деформация металла осуществляется в контактном слое стружки, где степень деформации в

десятки раз выше, чем в других зонах. Этот же контактный слой стружки участвует в работе трения по передней грани. Этим можно объяснить наибольшее тепловыделение и температуру в контактном слое стружки. Наименьшая деформация металла и сил трения — в слоях обработанной поверхности, прилегающих к задней грани инструмента. В этой зоне и температура нагрева наименьшая.

Выделяющееся при резании тепло отводится со стружкой (основное количество), через режущий инструмент (около 20 % тепла), через обрабатываемое изделие (около 10 %), в окружающее пространство путем излучения и конвекции, а при подводе СОЖ — путем теплопередачи. Устойчивый тепловой баланс при резании наблюдается при равенстве выделяющегося и отводимого тепла. Температура в зоне резания при этом определяется характеристиками обрабатываемого и инструментального материалов, режимами резания, условиями обработки. Расчет температур для конкретных условий обработки см., например, в работе [204].

**Виды износа режущего клина и его основные причины.** Процессы резания сопровождаются износом режущего клина. Различают следующие виды износа (рис. 2.25, а—б).

*Износ по передней поверхности* (лункообразный износ) преобладает при обработке вязких материалов, больших скоростях резания и съеме больших припусков; характеризуется глубиной  $h_{л}$ , шириной  $s$  лунки износа и расстоянием ее  $f_{л}$  от режущей кромки (рис. 2.25, а).

При положительных значениях переднего угла износ лунки с увеличением глубины ее происходит симметрично как в направлении схода стружки, так и в обратном направлении. При отрицательных значениях переднего угла значение  $f_{л}$  остается постоянным, а износ идет в направлении схода стружки (увеличиваются значения  $s$  и  $h_{л}$ ).

*Износ по задней поверхности* преобладает при обработке хрупких материалов, вязких аустенитных сталей и сплавов с большим упругим последствием; характеризуется размером площадки износа  $h_3$  (рис. 2.25, б).

Износ по передней и задней поверхностям одновременно наблюдается при обработке сталей, склонных к наклепу. Он характеризуется как размерами лунки на передней поверхности, так и размером площадки износа по задней поверхности.

Основными причинами износа могут быть (рис. 2.26) следующие.

*Абразивный износ* (2) связан с удалением частиц режущего материала под действием высокотвердых включений, карбидов, а также частиц окисных пленок, возникающих под действием высоких давлений и температуры. Характеризуется истирающей способностью обрабатываемого материала.

*Адгезионный износ* (3) связан с процессами схватывания (сваривания) отдельных микроучастков поверхностей инструмента — стружка под воздействием высоких давлений и температуры при непрерывном перемещении стружки по инструменту, благоприятствующем образованию зон сварки под давлением. Созданию таких зон способствует шероховатость поверхности инструмента.

Закономерность износа приближенно определяется зависимостью  $vT \approx \text{const} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^z$ , где  $v$  — скорость резания;  $T$  — стойкость инструмента,  $H_1$  и  $H_2$  — твердости инструментального материала и контактных слоев стружки соответственно;  $z$  — показатель степени износа.

Адгезионный износ особенно возрастает при скоростях резания, способствующих наростообразованию (нарост — образованный на режущем клине слой упрочненных при резании частиц обрабатываемого материала). При малых скоростях резания нарост не образуется, при увеличении скорости резания до 10—20 м/мин происходит интенсивное наростообразование, при дальнейшем повышении скорости резания нарост не образуется.

*Диффузионный износ* (1) связан с взаимной диффузией при высоких температурах и деформациях отдельных элементов

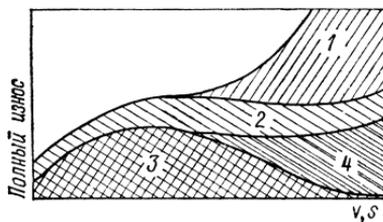


Рис. 2.26. Основные причины износа режущего клина и их влияние на износ в зависимости от скорости резания

обрабатываемого материала и инструмента (углерода, вольфрама, кобальта).

Окислительный износ (4) возникает у инструментов из высокопрочных материалов и представляет собой «угорание» частиц режущего клина в примыкающих к контактной зоне его участках. На вспомогательных режущих кромках «угорание» начинается только при температуре 700—800 °С и выше (твердые

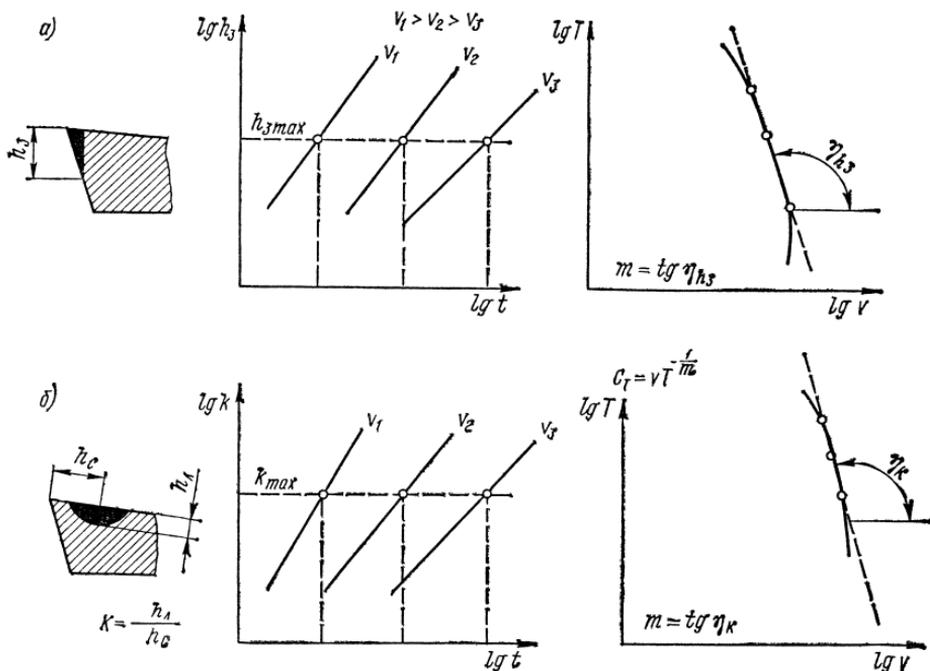


Рис. 2.27. График зависимости  $h_3$  от  $v$  и  $k$  ( $h_d$ ) от  $v$

сплавы), и поэтому окислительный износ для инструмента из инструментальных и быстрорежущих сталей можно не учитывать.

В зависимости от условий резания износ определяется комбинацией основных его причин.

**Период стойкости инструмента.** Период стойкости определяется временем работы инструмента до достижения критерия затупления, т. е. временем от заточки до затупления. Иногда период стойкости оценивают не временем, а длиной пути резания, числом обработанных изделий и т. д.

На операциях, обеспечивающих требуемую точность или параметр шероховатости, период стойкости определяется временем, в течение которого инструмент обеспечивает получение требуемых параметров.

Критериями (рекомендуемыми) стойкости инструмента до достижения им износа в зависимости от материала режущей части являются:

для инструмента из быстрорежущей стали  $h_3 = 0,2 \div 1$  мм;  
 $h_{\text{л}} = 0,1 \div 0,3$  мм;

для твердосплавного инструмента  $h_3 = 0,3 \div 0,5$  мм;  $h_{\text{л}} = 0,1 \div 0,2$  мм;

для инструмента из минералокерамики и сверхтвердых материалов  $h_3 = 0,15 \div 0,3$  мм;  $h_{\text{л}} = 0,1$  мм.

Период стойкости выбирают в пределах 10—60 мин за счет назначения соответствующей скорости резания, которая связана со стойкостью зависимостью  $vT^{-1/m} \approx C_T$ .

В двойных логарифмических координатах эта зависимость линейна (рис. 2.27) [61]:  $m = \text{tg } \eta_{h_3}$  или  $m = \text{tg } \eta_{\text{л}}$ . Значение  $1/m$  при обработке быстрорежущими резацами сталей и чугунов приближенно равно 8—10, твердосплавными резацами — 5, резацами из минералокерамики — 2.

Стойкость, определенная по приведенной формуле, является средней и используется при разработке нормативов режимов резания, расхода инструмента, расчета экономической эффективности и т. д.

При определении времени принудительной смены инструментов на автоматизированном оборудовании (автоматических линиях, станках с ЧПУ, обрабатывающих центрах) используют установленный период стойкости, значительно меньший, чем средний 0,3—0,5 от  $T_{\text{ср}}$ , и гарантирующий безотказную работу инструмента за этот период.

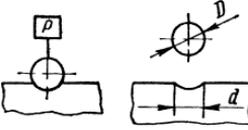
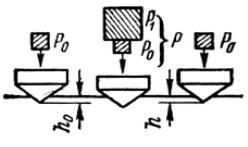
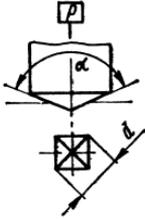
Период стойкости инструментов при многоинструментальной обработке принимаем  $T_{\text{ми}} = TK_{\text{ми}}$ . Если число одновременно работающих инструментов 3; 5; 8; 10; 15, то  $K_{\text{ми}}$  равен 1,7; 2; 2,5; 3; 4 соответственно.

При многостаночном обслуживании период стойкости  $T_{\text{м.о}} = TK_{\text{м}}$ . Если число одновременно обслуживаемых станков 2; 3; 4; 5; 6, то коэффициент  $K_{\text{м}}$  равен 1,4; 1,9; 2,2; 2,6; 2,8 соответственно.

### 2.3. Материалы, обрабатываемые резанием, и их технологические свойства

Обработке резанием подлежат все виды существующих и вновь создаваемых конструкционных материалов. Каждый материал, подлежащий обработке, кроме химического состава, обладает рядом физико-механических характеристик, которые определяют его эксплуатационные свойства и технологические особенности. К физико-механическим характеристикам материалов, характеризующих его технологические свойства (при обработке резанием) относятся параметры твердости HB, HRC<sub>a</sub> и HV, предел прочности на растяжение  $\sigma_{\text{в}}$  и теплопроводность  $\lambda$ . С этими свойствами тесно связан технологический показатель обрабатываемости материала резанием. Параметры HB, HRC<sub>a</sub>, HV и  $\sigma_{\text{в}}$  приводятся в каталогах на материалы или могут быть

## 2.2. Методы измерения твердости конструкционных материалов

| Метод измерения твердости   | Формула для расчета   | Эскиз   |
|---|---|---|
| <p>Измерение твердости по Бринеллю (вдавливание шарика) черных и цветных металлов. Диапазон единиц: 8—420 — при вдавливании стального и 400 — 600 — при вдавливании твердосплавного шарика при температуре <math>20 \pm 10^\circ\text{C}</math> (ГОСТ 9012—59*)</p>   | $HB = \frac{0,102 \cdot 2P}{PD(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ <p>где <math>P</math> — нагрузка, Н; <math>D</math> — диаметр шарика, мм; <math>d</math> — диаметр отпечатка, мм</p>   |    |
| <p>Измерение твердости по Роквеллу черных и цветных металлов и сплавов. Определяется по шкалам А, В и С при температуре <math>20 \pm 10^\circ\text{C}</math> (ГОСТ 9013—59*). Пределы измерений:<br/> 70 — 85 HRA (<math>P_0 = 100</math> Н; <math>P_1 = 500</math> Н);<br/> 20 — 67 HRC<sub>90</sub> (<math>P_0 = 100</math> Н; <math>P_1 = 1400</math> Н);<br/> 25 — 100 HRB (<math>P_0 = 100</math> Н; <math>P_1 = 900</math> Н)</p> | <p>Измерение по шкалам А и С (вдавливание алмазного конуса)</p> $HR = 100 - e$ <p>Измерение по шкале В (вдавливание стального шарика диаметром 1,588 мм)</p> $HR = 130 - e$ <p>где <math>e = \frac{h - h_0}{0,002}</math> (<math>h_0</math> — глубина внедрения наконечника в испытуемый образец под действием предварительной нагрузки <math>F_0</math>; <math>h</math> — то же под действием общей нагрузки <math>F</math>, измеряется после снятия основной нагрузки <math>P_1</math> с оставлением предварительной нагрузки <math>P_0</math>, <math>P = P_0 + P_1</math>)</p> |    |
| <p>Измерение твердости по Виккерсу черных и цветных металлов и сплавов, твердостью 8—1000 единиц при температуре <math>20 \pm 10^\circ\text{C}</math></p>   | <p>Оценка по отпечатку алмазной пирамиды</p> $HV = 0,189 \frac{P}{d^2}$ <p>где <math>P</math> — нагрузка на пирамиду, Н; <math>d</math> — среднее арифметическое диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм; <math>P</math> может быть равно 50; 100; 200; 300; 500 и 1000 Н.</p>   |  |

| Метод измерения твердости   | Формула для расчета  | Эскиз |
|---|--|-------|
| Измерение микротвердости тонких поверхностных слоев, отдельных структурных составляющих и фаз сплавов вдавливанием алмазной пирамиды (ГОСТ 9450—76*)  | Оценка аналогична оценке по Виккерсу; $P$ может быть равно 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2 и 5 Н | —     |
| <p>Примечания: 1. При измерении твердости по Бринеллю стальным шариком диаметром 10 мм под нагрузкой <math>P = 30\ 000</math> Н с выдержкой 10 с твердость обозначается символом HB (например 200 HB). При других условиях к символу HB добавляется индекс, указывающий диаметр шарика, нагрузку и продолжительность выдержки, например 5/750/30 HB. При измерении твердости твердосплавным шариком твердость обозначается символом HBW (например 600 HBW). 2. При измерении твердости по Роквеллу шкала «С» используется для твердых материалов (термообработанная, в том числе закаленная сталь), шкала «В» — для мягких материалов, шкала «А» — для очень твердых материалов (и твердых сплавов). Обозначение твердости включает обозначения шкалы и твердость (например 50 HRC; 25 HRB; 80 HRA). 3. Поверхность образцов под измерение должна иметь параметр шероховатости <math>R_a \leq 0,1</math> мкм. 4. При измерении твердости по Виккерсу перед измерением числом твердости пишат HV, например HV 900. 5. При измерении микротвердости поверхности образцов шлифуют и полируют, а при необходимости подвергают травлению. Перед вычисленным числом твердости пишат H с индексом, указывающим нагрузку в дециньтонах, например, при нагрузке 0,5 Н — <math>H_{500}</math> — 2200 Н/мм<sup>2</sup>. 6. Для измерения микротвердости выпускаются приборы ПМЗ.</p> |  |       |

### 2.3. Коэффициенты обрабатываемости резанием различных групп конструкционных материалов

| Марка стали | Состояние материала | Механические свойства |                  | Коэффициент обрабатываемости |               |
|-------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------------------|---------------|
|             |                     | HB                    | $\sigma_B$ , МПа | Быстро-режущая сталь         | Твердый сплав |
| Ст.0        | Горячекатаный       | 103—107               | 32               | 1,75                         | 2,1           |
| Ст.2        | »                   | 137                   | 320—420          | 1,7                          | 1,5           |
| Ст.3        | »                   | 124                   | 380—470          | 1,65                         | 1,7           |
| Ст.5        | »                   | 156—159               | 500—620          | 1,2                          | 1,15          |
| Ст.08       | »                   | ≤131                  | 324              | 1,6                          | 2,1           |
| Ст.10КП     | »                   | ≤107                  | 334              | 1,6                          | 2,1           |
| 15          | »                   | ≤143                  | —                | 1,6                          | 1,5           |
| 20          | »                   | ≤130                  | —                | 1,6                          | 2,0           |
| 30          | »                   | ≤187                  | —                | 1,1                          | 1,2           |
| 35          | »                   | ≤187                  | —                | 1,0                          | 1,0           |
| 40          | »                   | ≤166                  | —                | 1,0                          | 1,4           |
| 45          | »                   | 170—179               | 650              | 1,0                          | 1,0           |
| 50          | »                   | 170—229               | 650              | 0,7                          | 0,8           |
| 60          | Нормализованный     | ≤241                  | 690              | 0,60                         | 0,7           |
| 70          | »                   | ≤241                  | 730              | 0,6                          | 0,7           |
| 20X         | Горячекатаный       | 131                   | 470              | 1,3                          | 1,7           |
| 35X         | »                   | 163                   | 620              | 0,95                         | 1,2           |
| 40X, 45X    | Нормализованный     | <207                  | —                | 0,7                          | 0,8           |

| Марка стали  | Состояние материала | Механические свойства |                  | Коэффициент обрабатываемости |               |
|--------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------------------|---------------|
|              |                     | НВ                    | $\sigma_B$ , МПа | Быстро-режущая сталь         | Твердый сплав |
| 50X          | Нормализованный     | <217                  | —                | 0,65                         | 0,8           |
| A12          | Горячекатаный       | 167—217               | —                | —                            | 1,6           |
| 20Л          | Литье               | ≤126                  | 420              | 1,3                          | 1,5           |
| 30Л          | »                   | ≤187                  | 480              | 0,8                          | 0,9           |
| 35Л          | »                   | ≤217                  | 500              | 0,75                         | 0,8           |
| 45Л          | »                   | ≤201                  | 550              | 0,6                          | 0,8           |
| 55Л          | »                   | ≤207                  | 600              | 0,5                          | 0,7           |
| ГЛ3          | »                   | ≤229                  | —                | —                            | 0,2           |
| φ0XФ         | Нормализованный     | 149—197               | —                | 0,95                         | 1,0           |
| ШХ15         | Отжиг               | <207                  | 750              | 0,5                          | 0,9           |
| 20Г          | Нормализованный     | 143—187               | —                | 0,90                         | 1,0           |
| 30Г          | »                   | 149—197               | —                | 0,8                          | 0,8           |
| 40Г          | »                   | 174—207               | —                | 0,7                          | 0,8           |
| 50Г          | Закалка, отпуск     | <229                  | —                | 0,55                         | 0,8           |
| 65Г          | » »                 | >240                  | —                | 0,5                          | 0,6           |
| 45Г2         | Нормализованный     | 229                   | 700              | 0,55                         | 0,8           |
| 18ХГТ        | »                   | 156—159               | 540              | 0,9                          | 1,0           |
| 30ХГТ        | »                   | 163—207               | —                | 0,60                         | 0,75          |
| 30ХМ; 30ХМА  | Закалка, отпуск     | 229—269               | 950              | 0,5                          | 0,7           |
| 35ХМ         | » »                 | 245                   | 810              | 0,5                          | 0,8           |
| 40ХФА        | » »                 | <241                  | —                | 0,60                         | 0,70          |
| 40ХН         | » »                 | <255                  | —                | 0,8                          | 1,0           |
| 12ХН3А       | Горячекатаный       | 207                   | —                | 0,7                          | 0,8           |
| 12ХН4А       | »                   | 207                   | —                | 0,7                          | 0,8           |
| 30ХГС        | Закалка, отпуск     | <229                  | 720              | 0,5                          | 0,7           |
| 30ХГСА       | » »                 | <229                  | 720              | 0,5                          | 0,7           |
| 35ХГСА       | » »                 | <229                  | 720              | 0,5                          | 0,7           |
| 38ХГН        | » »                 | 187—236               | 650              | 0,9                          | 1,0           |
| 38ХМЮА       | » »                 | 240—270               | 800              | 0,50                         | 0,70          |
| 12Х13 (1Х13) | » »                 | 241                   | —                | 0,9                          | 0,9           |
| 20Х13 (2Х13) | » »                 | 229—268               | 500              | 0,6                          | 0,8           |
| 40Х13 (4Х13) | Отжиг               | —                     | 560              | —                            | 0,7           |
| 14Х17Н2      | Закалка             | 330                   | —                | 0,3                          | 0,4           |
| (1Х17Н2)     | »                   | 179                   | >550             | 0,3                          | 0,5           |
| 12Х18Н10Т    | »                   | 179                   | >550             | 0,3                          | 0,5           |
| (Х18Н10Т)    | »                   | 179                   | >550             | 0,3                          | 0,5           |
| X15H910      | Отжиг               | —                     | <1100            | 0,4                          | 0,45          |
| 12Х21Н5Т     | Закалка             | —                     | >700             | 0,4                          | 0,45          |
| XH77T10      | Закалка, старение   | <321                  | 750              | 0,1                          | 0,2           |
| XH67BMT10    | » »                 | 217                   | —                | 0,1                          | 0,1           |
| 37X12H8Г8MФ5 | » »                 | 269                   | 850              | 0,2                          | 0,4           |
| BT5; BT5-1;  | Отжиг               | —                     | 700—950          | 0,4                          | 0,8           |
| OT4; OT4-1   | »                   | —                     | 700—950          | 0,4                          | 0,8           |
| BT1; BT1-1;  | »                   | —                     | <1200            | 0,45                         | 0,45          |
| BT 1—2       | »                   | —                     | <1200            | 0,45                         | 0,45          |
| BT6; BT6C    | »                   | —                     | <1000            | 0,45                         | 0,6           |
| BT14; BT15   | »                   | —                     | <1000            | 0,4                          | 0,55          |
| АЛ2; АЛ4;    | Состояние поставки  | —                     | 150—400          | —                            | 10—12         |
| AM3          | »                   | —                     | 150—400          | —                            | 10—12         |
| M1; M2; M3   | » »                 | —                     | 290—300          | —                            | 4—6           |

определены (кроме  $\sigma_B$ ) имеющимися на производстве средствами. Методы измерения НВ, НРС<sub>а</sub>, НV приведены в табл. 2.2.

Обрабатываемость резанием определяется коэффициентом обрабатываемости данного материала быстрорежущим или твердосплавным резцом по отношению к эталонному материалу по формуле

$$K_v = \frac{v_{60}}{v_{\text{эт } 60}},$$

где  $v_{60}$  — скорость резания при 60-минутной стойкости и определенных условиях резания рассматриваемого материала;  $v_{\text{эт } 60}$  — скорость резания при 60-минутной стойкости резцов из эталонного материала.

В табл. 2.3 приведены коэффициенты обрабатываемости резанием различных конструкционных материалов. За эталонную принята сталь 45 с  $\sigma_B = 650$  МПа, 179 НВ, эталонная скорость резания при лучистовом точении этой стали твердосплавными резцами 135 м/мин при 60-минутной стойкости, эталонная скорость резания при точении резцами из быстрорежущей стали Р18 — 75 м/мин при 60-минутной стойкости.

Абсолютное значение скорости резания при 60-минутной стойкости любой стали, отличной от эталонной, равно  $v_{x60} = v_{\text{эт}} k_{v \text{ бр}}$ . Например, для стали, у которой  $k_{v \text{ т. с}} = 0,8$ ,  $v_{x60} = 135 \cdot 0,8 = 108$  м/мин; для стали с  $k_{v \text{ бр}} = 0,1$   $v_{60} = 72 \cdot 0,1 = 7,2$  м/мин. Коэффициент обрабатываемости при точении можно применить для выбора скорости резания и при других видах обработки.

В нормативных документах обрабатываемые материалы группируются по группам обрабатываемости, последние — по видам обработки. Например, при протяжных работах группы обрабатываемости конструкционных материалов отличаются от групп обрабатываемости, существующих в нормативах [245]. Нормативы носят отраслевой характер и основаны на особенностях производства для определенной отрасли.

В табл. 2.3 приведены укрупненные значения коэффициентов обрабатываемости без учета особенностей эксплуатации в условиях каждой подотрасли, без деления материалов на группы обрабатываемости.