

## Лекция 1

В современном мировом машиностроительном производстве обработка резанием играет ведущую роль, что обеспечивается ее неоспоримыми преимуществами по сравнению с другими методами обработки материалов. Главными из них являются:

- высокая универсальность, что позволяет изготавливать детали разнообразных форм и размеров из различных материалов;
- высокая точность обработки, обеспечивающая точность размеров на уровне 6-го качества по ISO и выше. Наряду с высокой точностью методы обработки резанием обеспечивают высокое качество поверхности детали по показателям шероховатости и волнистости;
- высокая экономичность и гибкость процессов обработки резанием.

Несмотря на имеющиеся достижения в использовании методов литья и обработки давлением для окончательной обработки деталей, особенно в условиях массового производства, обработка резанием, лезвийная и абразивная, и в обозримом будущем будет превалировать при изготовлении деталей машин.

Главной задачей современного машиностроительного производства является обеспечение выпуска высококачественной, конкурентоспособной техники. Качество и точность получаемых деталей при заданных параметрах производительности и экономичности сегодня достигаются исключительно на операциях обработки резанием.

Поэтому дальнейшее повышение эффективности процесса резания, особенно в условиях автоматизированного производства, является важнейшей задачей, которая на современном этапе получила ранг не только технической, но и социальной проблемы.

Повышение эффективности процесса резания может быть обеспечено за счет совершенствования качества режущего инструмента, как важного звена технологической системы, интенсификации режимов обработки и сокращения вспомогательного времени.

Наблюдается тенденция дальнейшего повышения скоростей резания на станках средних размеров до 10000 м/мин и соответственно частоты вращения шпинделя до 40000 – 50000 об/мин (сверхскоростное резание). Этот вид резания применим для изготовления сложных деталей из легких сплавов, при обработке которых в стружку уходит до 80...90% массы заготовок. Широкое применение скоростного резания требует повышения точности (1–2 мкм) и жесткости шпиндельных узлов, создания надежных систем контроля состояния режущего инструмента и качества обработки с включением их в систему ЧПУ станка, повышения эффективности отвода стружки из зоны резания, в том числе путем совершенствования СОЖ и систем ее подачи в зону резания.

Первые отечественные теоретические и экспериментальные исследования процесса резания были проведены в 1868 – 1869 гг. проф. Петербургского горного института И.А. Тиме. Им впервые были даны научные основы процесса резания. Он провел исследования процесса стружкообразования, создал схему этого процесса, дал классификацию стружек, предложил формулы для подсчета силы резания и усадки стружки.

Вслед за Тиме проф. П.А. Афанасьев и акад. А.В. Гадолин предложили новые уравнения для подсчета силы резания с учетом сил трения по передней и задней поверхностям резца.

Значительный вклад в развитие науки о резании металлов внес проф. К.А. Зворыкин. Он создал схему сил, действующих на резец в процессе резания, сконструировал и впервые применил в своих экспериментальных исследованиях самопишущий гидравлический динамометр.

Схема сил, предложенная К.А. Зворыкиным, с дополнениями, сделанными проф. С.С. Рудником, действительна и в настоящее время.

В 1896 г. была опубликована работа А.А. Брикса, в которой приведен глубокий анализ работ отечественных и зарубежных исследований и сделаны попытки их обобщения.

Русские исследователи – И.А. Тиме, П.А. Афанасьев, А.В. Гадолин, К.А. Зворыкин, А.А. Брикс и др.– своими работами (1865- 1900 гг.) впервые заложили основы механики резания металлов.

Новое направление в исследовании процесса резания металлов было создано мастером-механиком Петербургского политехнического института Я. Г. Усачевым. Если И.А. Тиме и К.А. Зворыкина можно назвать основоположниками механики процесса резания, то Я. Г. Усачева - основоположником физики резания металлов. Он впервые применил микроскоп при изучении процесса резания металлов. Это позволило ему доказать, что, кроме «плоскости скалывания» (установленной Тиме) имеют место «плоскости скольжения», представляющие собой кристаллографические сдвиги.

Я.Г. Усачев первый разработал методы измерения температур на поверхностях резца и экспериментально определил зависимость температур от скорости резания, глубины резания и подачи. В своих исследованиях Усачев применил калориметр и созданные им термопары (используемые и в наши дни). Он также создал теорию наростообразования, установил явление упрочнения (наклеп) обработанной поверхности.

В советское время (1918 – 1935) А.Н. Челюсткин своими исследованиями развил формулу К.А. Зворыкина для определения силы резания, учтя влияние геометрических параметров резца и др.

В 1936 г. при Техническом Совете НКТП была создана Комиссия по резанию металлов в составе Е.П. Надеенской (председатель), А.И. Каширина, В.А. Кривоухова, И.М. Беспрозванного и С.Д. Тишина. В течение пяти лет Комиссия по резанию металлов являлась всесоюзным центром по планированию и координации всех научно-исследовательских работ по резанию металлов в Советском Союзе. За эти годы было выполнено около 250 научных исследований и обобщен опыт заводов. Исследования проводились коллективами, возглавляемыми А.В. Панкиным, С.Ф. Глебовым, В.Д. Кузнецовым, В.А. Кривоуховым, Н.И. Резниковым, М.Н. Лариным, П.П. Трудовым, П.А. Ребиндером и др.

Комиссия по резанию металлов разработала единую методику экспериментального исследования основных стойкостных и силовых зависимостей, справочные материалы по режимам резания для всех видов инструментов.

Большое значение имело развитие инженерных методов расчета оптимальных режимов резания, которые позволяли сравнительно просто рассчитывать важные для практики характеристики процесса резания.

Как в довоенный период, так и в течение первого десятилетия после Великой Отечественной войны были проведены исследования по внедрению в производство твердосплавного инструмента, созданы новые марки твердых сплавов и их модификации.

Основы конструирования и расчета режущего инструмента разработаны коллективами Московского станкоинструментального института. Всесоюзного научно-исследовательского инструментального института (ВНИИ), Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования (ВНИИАШ), Московского высшего технического училища, заводов «Фрезер», Московского инструментального завода (МИЗ) и другими при непосредственном участии таких ученых, как И.И. Семенченко, Г.И. Грановский, В.М. Матюшин, С.С. Четвериков и др.

В послевоенные годы в машиностроении началось освоение новых типов турбин, двигателей, химических аппаратов, атомных реакторов и другого оборудования, работающего при высоких температурах, в агрессивных средах и других специфических условиях. В связи с этим возникла необходимость обработки большого количества деталей из новых жаропрочных, нержавеющей, эрозионно-стойких, тугоплавких и других специальных сталей и сплавов.

Благодаря трудам В.А. Кривоухова, Г.И. Грановского, Н.Н. Зорева, А.И. Исаева, Т.Н. Лоладзе, А.М. Розенберга, М.И. Клушина, В. Н. Подураева, М.Ф. Полетика, Н.В. Талантова, А.Д. Макарова, С.С. Силина, В.Ф. Боброва, А.Н. Резникова и других ученых были созданы теоретические основы процесса резания.

## **1. Общие сведения о резании материалов**

### **1.1. Виды обработки материалов резанием**

*Процесс резания* – это последовательное срезание металла заготовки режущим инструментом, удаление его в виде стружки с целью получения детали определенной формы и размеров, заданных чертежом, и обеспечения определенного технологией качества поверхности.

Существует множество видов обработки материалов резанием, различающихся конструкцией инструментов и станков, а также кинематикой относительного движения инструментов и заготовок. Из них наибольшее распространение получили следующие виды обработки:

- лезвийная обработка точением, фрезерованием, протягиванием;
- обработка осевыми инструментами (сверлами, зенкерами и развертками);
- нарезание резьб и зубчатых колес;
- абразивная обработка шлифованием.

Весь существующий режущий инструмент делится на два класса – лезвийный и абразивный инструмент.

Лезвийный режущий инструмент состоит из державки или корпуса и одного или нескольких режущих зубьев.

Любой режущий зуб в своей основе состоит из передней и задней поверхностей, при пересечении которых формируется режущая кромка (режущее лезвие). Наиболее выгодной формой режущего зуба является *клин* (рис. 1). Форма клина может быть самой различной (острой, тупой, несимметричной и т.д.) и зависит от конструкции режущего инструмента.

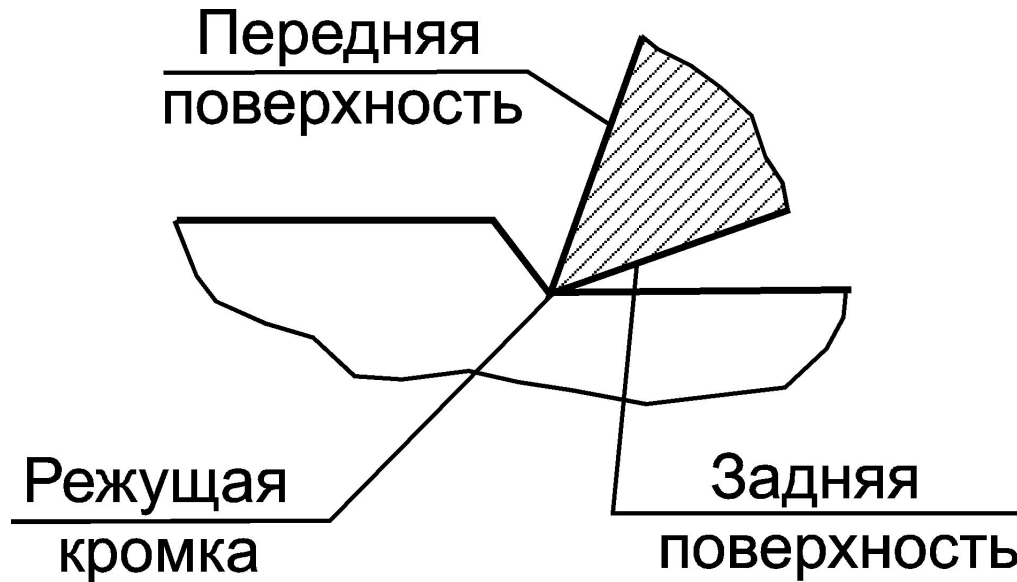


Рис. 1. Режущий клин

Абразивный режущий инструмент состоит из отдельных зерен абразивного материала (искусственного или естественного), объединенных в одно целое с помощью специальной связки. Он имеет форму кругов, головок, сегментов, брусков, лент и применяется при шлифовании, заточке, хонинговании, суперфинише и доводке

Микротвердость абразивного материала в среднем на порядок выше микротвердости любого конструкционного материала.

При всем многообразии лезвийных и абразивных инструментов в основе их взаимодействия с обрабатываемым материалом лежат общие закономерности процесса резания. Суть этих закономерностей можно изучить на примере простейшего однолезвийного инструмента – токарного резца.

## **1.2. Кинематика продольного точения, элементы режима резания.**

### **Геометрические параметры токарного резца**

#### **Кинематика продольного точения, элементы режима резания**

Токарная обработка (точение) является наиболее распространенным методом обработки тел вращения, совершаемым резцами на станках токарной группы. Основными операциями токарной обработки являются: обточка, расточка, подрезка торцов, прорезка канавок, отрезка заготовок, снятие фасок, получение галтелей, нарезание резьб и т.д.

На заготовке подвергаемой обработке различают: обрабатываемую поверхность, обработанную поверхность и поверхность резания.

*Обрабатываемая поверхность* – это поверхность, с которой снимается припуск в процессе резания. *Обработанная поверхность* – это поверхность, образующаяся после снятия стружки. *Поверхность резания* – это поверхность, которая образуется режущим лезвием инструмента и является переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

На рис. 2. показаны основные поверхности заготовки и основные движения, необходимые для осуществления процесса резания при точении.



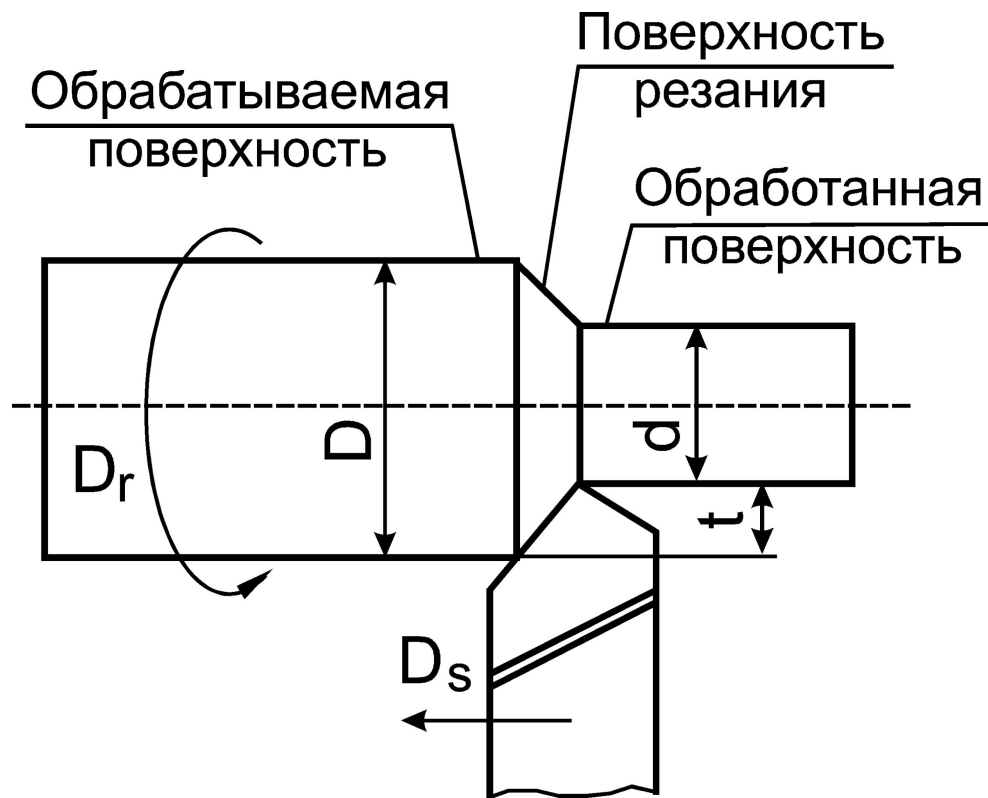


Рис. 2. Основные поверхности заготовки и основные движения, необходимые для осуществления процесса резания при точении

Для осуществления процесса резания необходимы как минимум следующие условия:

- а) инструмент должен иметь соответствующую форму и рациональную геометрию заточки;
- б) твердость режущей части инструмента должна быть значительно выше твердости обрабатываемого материала;

в) инструмент и заготовка в процессе резания должны перемещаться друг относительно друга строго по заданным траекториям;

г) все взаимные перемещения должны происходить с определенными скоростями главного движения резания и движения подачи в зависимости от различных технологических факторов и условий обработки.

Для осуществления процесса резания необходимо иметь как минимум два движения, а именно: главное движение резания и движение подачи. *Главное движение резания ( $D_r$ )* – это прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью. *Движение подачи ( $D_s$ )* – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания и которое предназначено для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

При обработке на токарных станках главное движение резания (вращение) совершает заготовка, а инструмент производит движение подачи (см. рис. 2). В случае работы на расточных, сверлильных и фрезерных станках, наоборот, главное движение совершают инструменты, а движение подачи может осуществлять как заготовка, так и инструмент.

Скорость главного движения резания при точении задается в (м/мин), которая подсчитывается по формуле  $v = \frac{\pi D n}{1000}$ , где  $D$  – диаметр обрабатываемой заготовки, мм;  $n$  – частота вращения заготовки, об/мин.

Скорость движения подачи  $v_s$  или просто подача  $S$  может задаваться в (мм/мин) или (мм/об). При токарной обработке различают два вида подач:

$S_m$  – минутную подачу (мм/мин), которая показывает на какое расстояние переместится инструмент за 1 минуту;

$S_o$  – подачу на один оборот заготовки (мм/об), которая показывает на какое расстояние переместится инструмент за 1 полный оборот заготовки.

$$S_o = S_m / n$$

При точении задаются  $v$ ,  $S_o$  ( $S_m$ ),  $t$ , которые называются элементами режима резания. Глубина резания  $t$  (мм) – это расстояние от обрабатываемой поверхности заготовки до обработанной, измеренное по нормали.

$$t = \frac{D - d}{2}$$

### **Геометрические параметры токарного резца**

Токарные резцы имеют универсальную геометрию, элементы которой присутствуют у любого режущего инструмента. Они имеют рабочую (режущую) часть и державку (рис. 3). Рабочая часть изготавливается из соответствующего инструментального материала, а державка из сталей 40, 45, 40Х. Габариты державки определяются шириной  $B$  и высотой  $H$ , значения которых устанавливаются ГОСТами. Элементы рабочей части резца представлены на рис. 3.

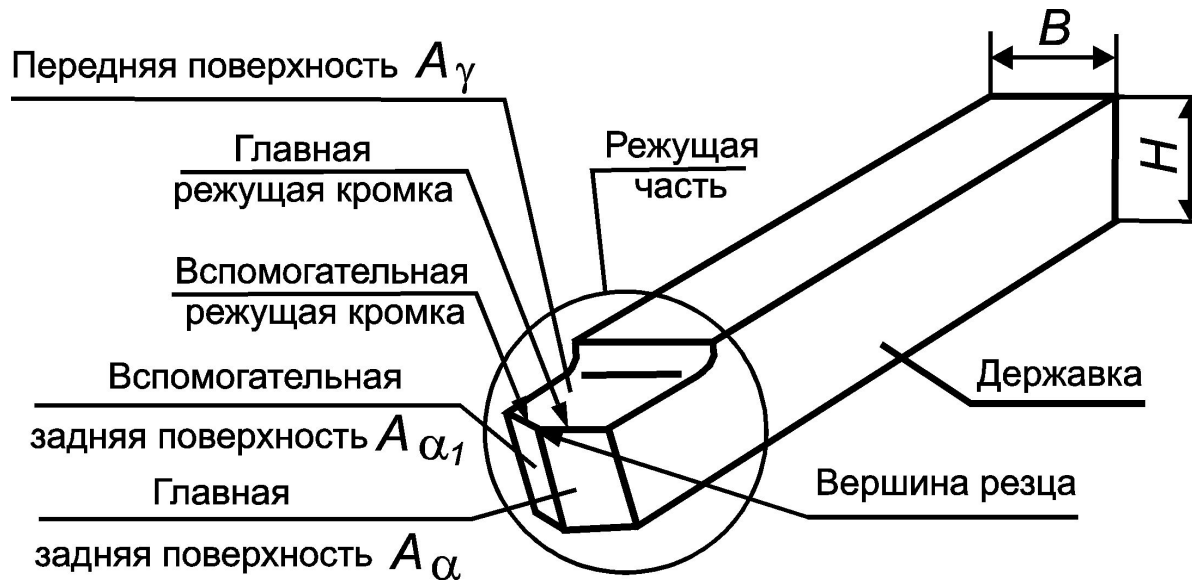


Рис. 3. Элементы рабочей части токарного резца

Рабочая часть резца содержит переднюю ( $A_\gamma$ ), главную ( $A_\alpha$ ) и вспомогательную ( $A_{\alpha_1}$ ) задние поверхности. *Передняя поверхность  $A_\gamma$*  – это поверхность лезвия инструмента, по которой в процессе резания сходит стружка. *Главная задняя поверхность* инструмента  $A_\alpha$  это поверхность лезвия, обращенная в процессе обработки к поверхности резания заготовки. *Вспомогательная задняя поверхность* – это поверхность лезвия инструмента, обращенная к обработанной поверхности заготовки. Так как эти поверхности не параллельны между собой, то при пересечении они образуют элементы лезвия резца (см. рис. 3).

Для ориентации инструмента в пространстве и определения его геометрии установлено понятие координатных плоскостей. Такими плоскостями являются основная плоскость и плоскость резания. *Основная плоскость*  $P_v$  – это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания (рис. 4). *Плоскость резания*  $P_n$  – это координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

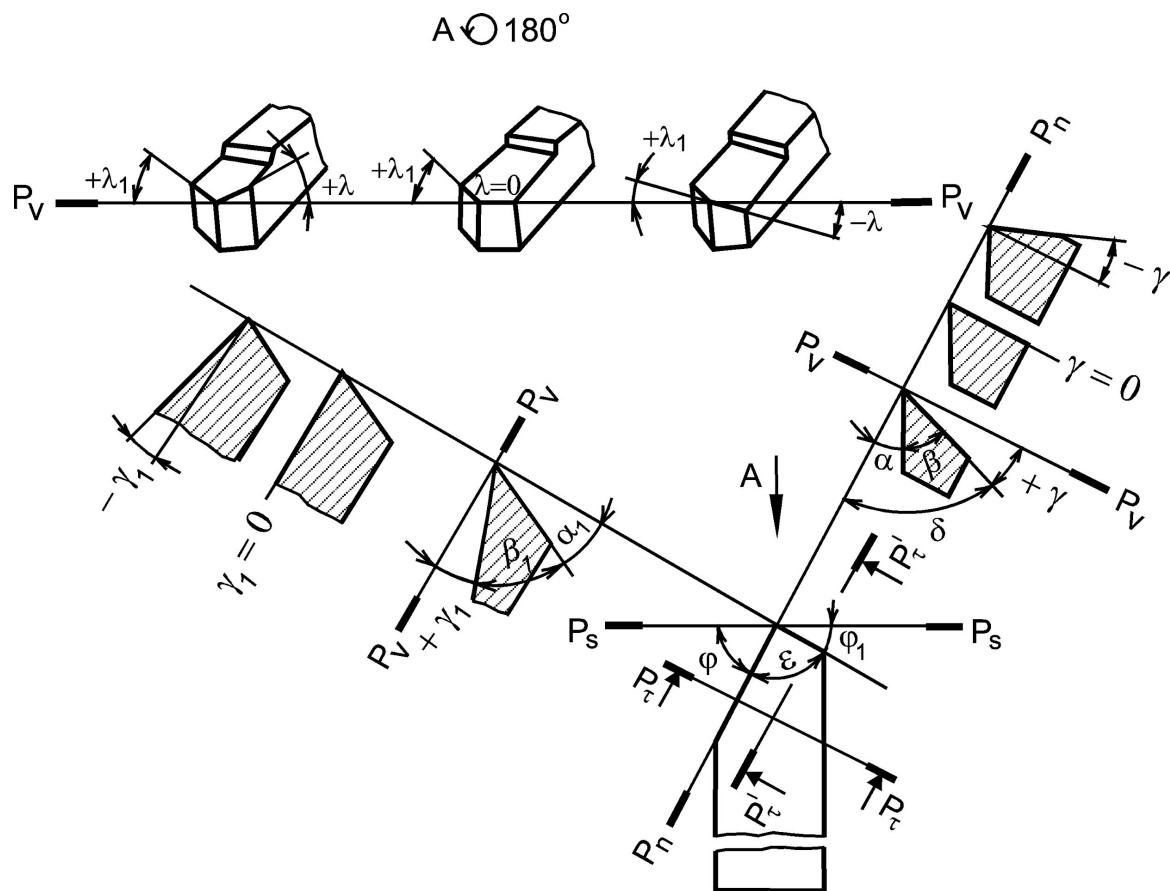


Рис. 4. Геометрические параметры проходного токарного реза

Геометрию резца рекомендуется рассматривать в главной и вспомогательной секущих плоскостях.

*Главная секущая плоскость*  $P_\tau$  – это плоскость перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

*Вспомогательная секущая плоскость*  $P'_\tau$  – это плоскость перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

В главной секущей плоскости рассматриваются (см. рис. 4):

- *главный передний угол*  $\gamma$  – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и основной плоскостью, проведенной через рассматриваемую точку главной режущей кромки;
- *главный задний угол*  $\alpha$  – это угол между главной задней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью резания;
- *угол заострения*  $\beta$  – это угол между передней и главной задней поверхностями;
- *угол резания*  $\delta$  – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью резания;  $\delta + \gamma = 90^\circ$ , т.е. если  $\delta < 90^\circ$ , то  $\gamma > 0^\circ$ , если  $\delta > 90^\circ$ , то  $\gamma < 0^\circ$ .

В вспомогательной секущей плоскости рассматриваются:

- *вспомогательный передний угол*  $\gamma_1$  – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и основной плоскостью, проведенной через рассматриваемую точку вспомогательной режущей кромки;
- *вспомогательный задний угол*  $\alpha_1$  – это угол между вспомогательной задней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Геометрия резца, кроме того, определяется главным и вспомогательным углами в плане, углом при вершине резца, а также углами наклона главной и вспомогательной режущих кромок (см. рис. 4).

*Главный угол в плане  $\varphi$*  – это угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. *Рабочая плоскость  $P_s$*  – плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения резания и движения подачи. *Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$*  – это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью. *Угол при вершине резца  $\varepsilon$*  – это угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость;  $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$ .

*Угол наклона главной режущей кромки* – это угол между основной плоскостью, проведенной через вершину резца, и главной режущей кромкой инструмента. *Угол наклона вспомогательной режущей кромки* – это угол между основной плоскостью, проведенной через вершину резца, и вспомогательной режущей кромкой. Углы и принято считать положительными, если вершина резца является наинизшей точкой соответствующей режущей кромки. В противном случае – отрицательными.

Основная (1.) и дополнительная (2.) литература по курсу РСИ:

1.1. Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник: [для вузов по направлению подгот. Дипломир. Специалистов – «конструкт.-технол. Обеспечение машиностроит. Пр-в»] / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов, А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. Ред. П.И. Ящерицына. – 3-е изд., доп. И перераб. – М.: Глобус, 2005. - 412 с.

1.2. Резание материалов [Текст]: учеб. Для вузов / Д.В. Кожевников, С.В. Кирсанов; под общ. Ред. Проф., д.т.н. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2007. – 303 с.

1.3. Скуратов, Д. Л. Обработка конструкционных материалов. Процессы, инструменты и станки. [Текст] : [учеб. пособие] / Д. Л. Скуратов, В. Н. Трусов ; Самар. гос. Аэрокос. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - 2012. - Ч. 1.-196 с.

1.4. Скуратов, Д. Л. Обработка конструкционных материалов. Процессы, инструменты и станки. [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / Д. Л. Скуратов, А. И. Хаймович, С. Р. Абульханов ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - 2018. - Ч. 2.

1.5. Программирование автоматизированного оборудования [Текст]: [в 2-х ч.]: учеб. Для вузов/ П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2008. – (Высшее образование). Ч.1. -2008. – 571 с.

1.6. Программирование автоматизированного оборудования [Текст]: [в 2-х ч.]: учеб. Для вузов/ П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2008. – (Высшее образование). Ч.2. -2008. – 301 с.



- 2.1 Металлорежущие станки [Электронный ресурс] : [лаб. практикум / М. Б. Сазонов, Д. Л. Скуратов, Ю. А. Шабалин, С. Р. Абульханов, А. Н. Швецов] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2017.
- 2.2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. [Текст]: Учебное пособие / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. Шк., 2004. – 415 с.
- 2.3. Обработка металлов резанием: справ. Технолога [Текст]: / А.А. Панов [и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. – 2-е изд., пераб и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
- 2.4. Жидяев, А. Н. Наладка и обработка на станках с ЧПУ : учеб. пособие. - Текст : электронный / А. Н. Жидяев, С. Р. Абульханов ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2020.
- 2.5. Обработка деталей на станках с ЧПУ. [Текст]: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 286 с.