

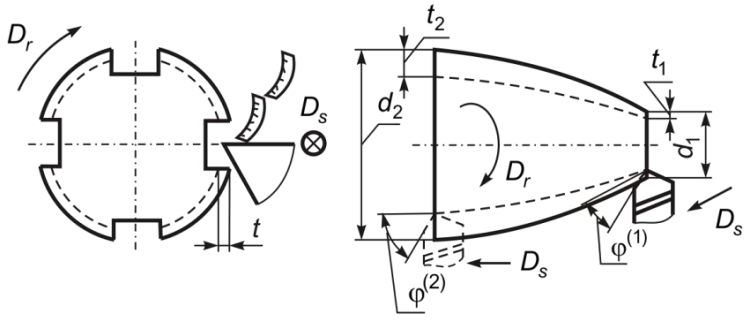
а *б*

Рисунок 1.11 – Прямоугольное (ортогональное) (*а*)
и косоугольное (*б)* резание

3. По количеству лезвий, которые одновременно принимают участие в работе, – ***одно-*** и ***многолезвийное***. К первому виду относится точение, строгание, долбление; ко второму – сверление, фрезерование и т. п.

4. По форме сечения срезаемого слоя – с ***постоянным*** и ***переменным сечениями***.

5. По времени и условиям контакта режущего лезвия с заготовкой – ***непрерывное, прерывистое и нестационарное резание*** (рис. 1.12).



а *б*

Рисунок 1.12 – Схемы прерывистого (*а*) и нестационарного (*б*) резания

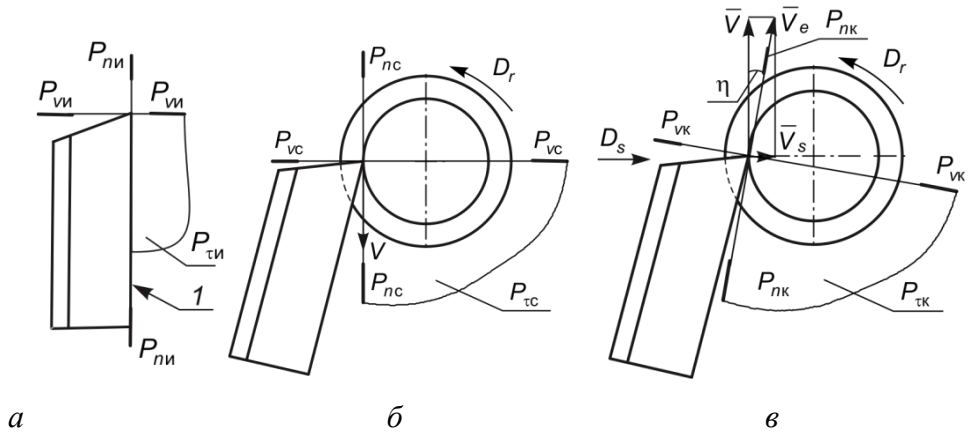
Лекция 2. Элементы конструкции и геометрические параметры режущей части инструмента (на примере токарного резца)

Любой режущий инструмент нужно рассматривать с двух точек зрения: как некоторое геометрическое тело определенной формы и размеров или как орудие труда, с помощью которого осуществляется определенный вид обработки. В соответствии с этим и геометрические параметры инструмента целесообразно разделять на параметры инструмента как геометрического тела, необходимые при изготовлении инструмента (так назы-

ваемые инструментальные углы или углы заточки), и параметры инструмента в процессе резания, которые определяют условия протекания процесса (так называемые рабочие углы или кинематические). Придав инструменту в ходе его работы те или иные движения или изменив соотношение скоростей этих движений, можно при неизменных углах заточки получить различные по величине кинематические углы.

Для определения положения поверхностей и режущих кромок инструмента в различных условиях используют три прямоугольных системы координат – инструментальную (ИСК), статическую (ССК) и кинематическую (КСК) (рис. 1.13), каждая из которых состоит из следующих координатных плоскостей: P_v – ***основная*** и P_n – ***резания***. Кроме того рассматриваются плоскости: P_S – ***рабочая***; P_τ – ***главная секущая***, $P_н$ – ***нормальная секущая***, $P_с$ – ***секущая плоскость в направлении схода стружки***, а также ***вспомогательная секущая***.

Инструментальная система имеет начало в рассматриваемой точке режущей кромки и ориентирована относительно элементов режущего инструмента, принятых за базу в ходе изготовления или контроля; ***статическая*** – относительно скорости главного движения резания V; ***кинематическая*** – относительно скорости результирующего движения резания V_e.



а *б* *в*

Рисунок 1.13 – Системы координат и координатные плоскости при точении призматическим резцом с поперечной подачей:
а – инструментальная система координат; *б* – статическая система координат; *в* – кинематическая система координат

Инструментальная система координат (ИСК) применяется при изготовлении и контроле инструментов. Именно углы, определенные в ИСК, указываются на рабочих чертежах инструментов.

Статическая система координат (ССК) является чаще всего используемой на практике. Применяется для приближенного определения углов лезвия в процессе резания и для учета изменения этих углов при установке инструмента на станке.

Кинематическая система координат (КСК). Применяется для определения действительных (рабочих) углов лезвия, которые имеют место непосредственно в процессе резания.

Координатные плоскости любой системы координат взаимно перпендикулярны, а центр их пересечения лежит в рассматриваемой точке *A* на режущей кромке. На рис. 1.14 показано расположение координатных плоскостей для процесса продольного точения (обтачивания). Для всех других видов обработки резанием определение их расположения проводится по нижеуказанным правилам:

- P_v – ***основная плоскость*** (*1*) – это координатная плоскость, проведенная через заданную точку *A* режущей кромки, перпендикулярно направлению скорости главного *V* (ССК) или результирующего V_e (КСК) движения резания в этой точке;
- P_n – ***плоскость резания*** (*2*) – это координатная плоскость, касательная к режущей кромке в точке *A* и перпендикулярная к основной плоскости;
- P_S – ***рабочая плоскость***, в которой размещены векторы скоростей главного движения резания *V* и движения подачи V_S;

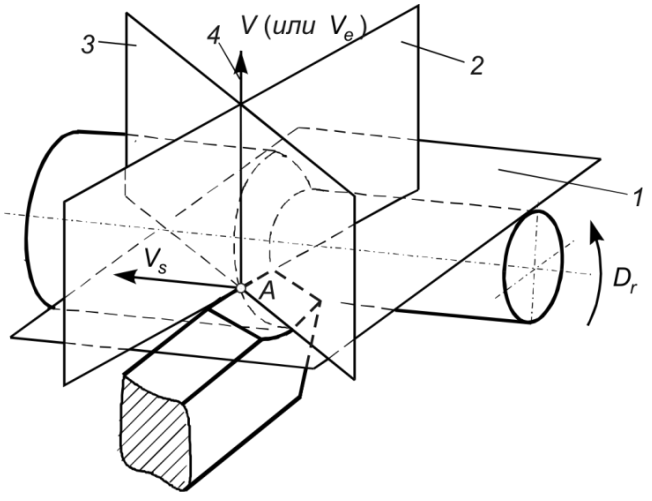


Рисунок 1.14 – Расположение координатных плоскостей относительно кинематических элементов процесса резания:

1 – основная плоскость – P_v; *2* – плоскость резания – P_n;
3 – главная секущая плоскость – P_τ; *4* – *V* (или V_e) – вектор скорости главного движения D_r или результирующего D_e движения

- P_τ – ***главная секущая плоскость*** (*3*) – это координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания в точке *A*;

Геометрические параметры режущих лезвий инструментов рассматривают: в основной плоскости P_v (так называемые углы в плане – φ, φ_1, ε); в главной секущей плоскости P_τ, – (углы γ, α, β); в плоскости резания P_n – (угол λ).

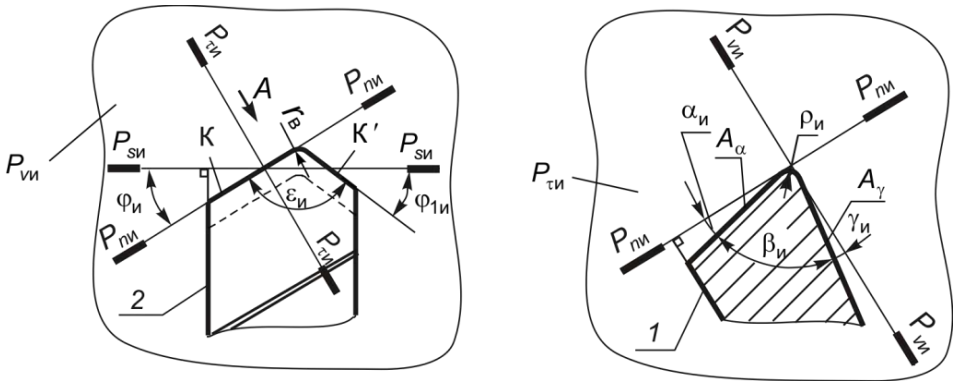
- φ – ***главный угол в плане*** – это угол между плоскостью резания P_n и рабочей плоскостью P_S;
- φ_1 – ***вспомогательный угол в плане*** – это угол между рабочей плоскостью P_S и проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость P_v;
- ε – ***угол при вершине лезвия***. Очевидно, что $\varphi+\varepsilon+\varphi_1=180°$;
- γ – ***главный передний угол*** – это угол между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью P_v;
- α – ***главный задний угол*** – это угол между главной задней поверхностью лезвия и плоскостью резания P_n;
- β – ***главный угол заострения*** – это угол между передней и задней поверхностями лезвия;
- λ – ***угол наклона главной режущей кромки*** – это угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью P_v.

В обозначениях координатных плоскостей и параметров лезвия применяются индексы, которые отвечают системе: «и» – в ИСК; «с» – в ССК; «к» – в КСК. Например, $P_{v\text{с}}$ – основная плоскость ССК, $P_{v\text{к}}$ – основная плоскость КСК. $\gamma_\text{с}$ – передний угол в ССК, $\gamma_\text{к}$ – передний угол в КСК, $\gamma_\text{и}$ – передний угол в ИСК.

Инструментальные геометрические параметры лезвия резца в ИСК представлены на рис. 1.15, рис 1.16, рис 1.17.

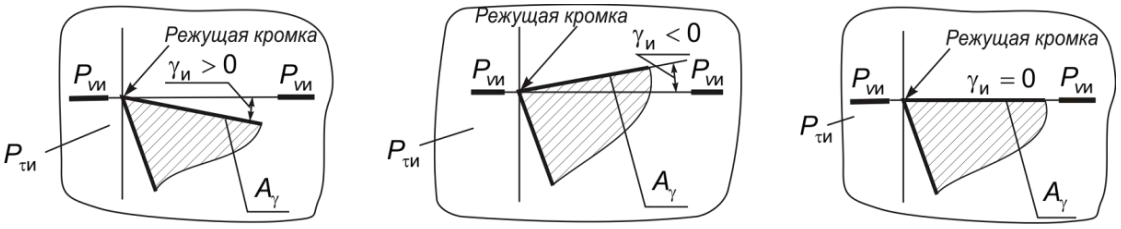
При заточке резцов на некоторых моделях заточных станков необходимо знать величину передних и задних углов в сечениях плоскостями *P*–*P* и P_1–P_1 (рис. 1.18).

Плоскость *P*–*P* расположена перпендикулярно к основной и параллельно боковой плоскостям. Ее называют продольной секущей плоскостью. Плоскость P_1–P_1 еще называют поперечной секущей плоскостью. Углы резца, расположенные в отмеченных плоскостях, соответственно, называют продольными и поперечными.



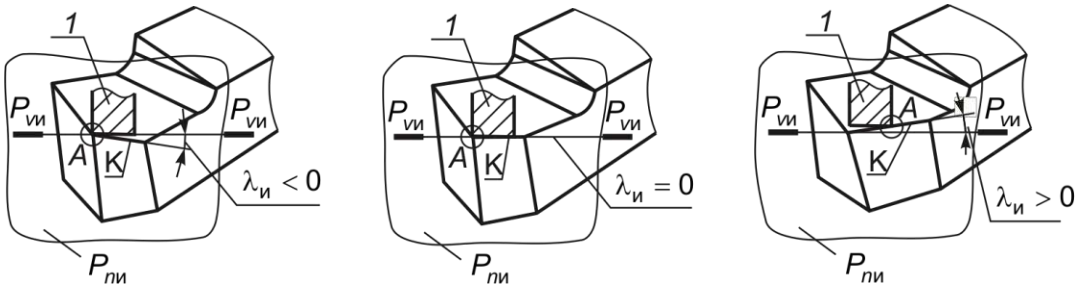
а *б*

Рисунок 1.15 – Инструментальные геометрические параметры лезвия резца:
а – в основной плоскости – $P_{vи}$; *б* – в главной секущей плоскости – $P_{\tau и}$



а *б* *в*

Рисунок 1.16 – Определение знака переднего угла $\gamma_и$:
а – положительный $\gamma_и$; *б* – отрицательный $\gamma_и$; *в* – $\gamma_и$ равный нулю



а *б* *в*

Рисунок 1.17. Определение угла наклона главной режущей кромки $\lambda_и$:
1 – срезаемый припуск (*А* – точка первого контакта режущей кромки
с обрабатываемым материалом); К – главная режущая кромка;
а – угол $\lambda_и$ – отрицательный; *б* – угол $\lambda_и$ равняется нулю;
в – угол $\lambda_и$ – положительный

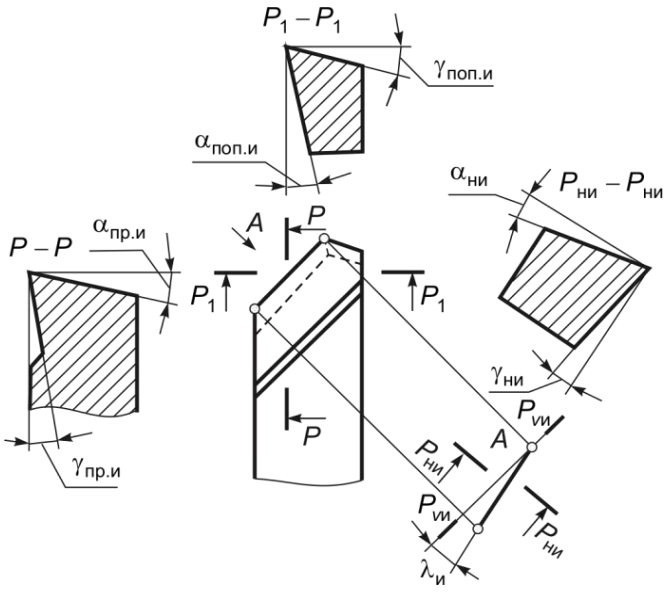


Рисунок 1.18 – Схема для определения продольных и поперечных углов режущей части резца

Определение продольных и поперечных передних $\gamma_{пр.и}$ и $\gamma_{поп.и}$ и задних $\alpha_{пр.и}$ и $\alpha_{поп.и}$ углов аналогично определениям углов $\gamma_и$ и $\alpha_и$.

В некоторых случаях необходимо знать величину переднего и заднего углов, расположенных не в главной секущей плоскости $P_{ти}$, а в плоскости $P_{ни}$, перпендикулярной к главной режущей кромке резца. На рис. 1.18 эти углы обозначены $\gamma_{ни}$, $\alpha_{ни}$.

В соответствии с определением базой для ориентации статической системы координат является направление вектора скорости главного движения резания. Как правило, режущие инструменты устанавливаются таким образом, чтобы осевая плоскость заготовки, которая проходит через рассматриваемую точку режущей кромки (вершину) лезвия инструмента, была параллельной опорной плоскости *1* резца (см. рис. 1.15). В этом случае вектор скорости главного движения перпендикулярен и к опорной плоскости, и к основной, а, значит, ИСК и ССК совпадают между собой, как и инструментальные, и статические углы режущей части.

Иногда преднамеренно или в результате погрешности установки вершина лезвия инструмента устанавливается выше или ниже оси вращения заготовки. Например, при растачивании небольших отверстий, чтобы разместить в отверстии резец больших размеров, его вершину устанавливают выше оси заготовки (рис. 1.19). Для приведенного случая возникает разница между статическими и инструментальными углами $\xi_с$, вызванная установкой вершины резца выше оси вращения заготовки.

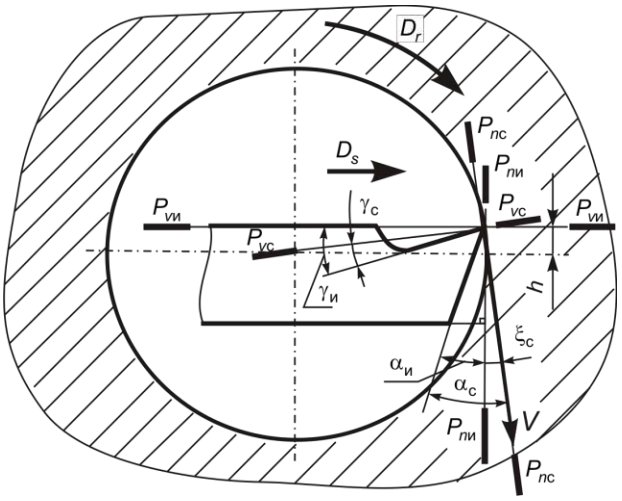


Рисунок 1.19 – Особенности определения статических и инструментальных углов режущей части расточного резца при его установке выше оси заготовки

В некоторых случаях резцы устанавливают боковой плоскостью не перпендикулярно к направлению подачи, а под углом ξ_S, изменяя тем самым положение ИСК по отношению к ССК в основной плоскости (рис. 1.20).

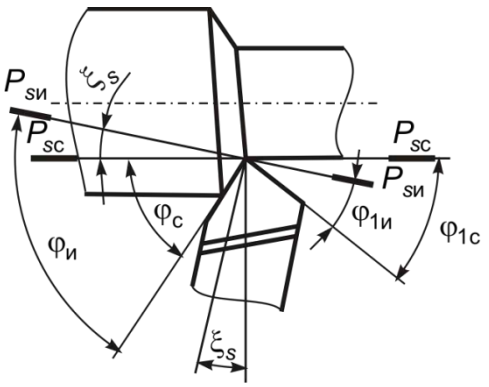


Рисунок 1.20 – Изменение углов φ и φ_1 в зависимости от установки резца относительно направления подачи

Результатом этого будет отличие между значениями инструментальных и статических углов в плане φ и φ_1:

В современных условиях задача определения статических углов режущей части приобрела особенную актуальность с применением инструментов, оснащенных сменными неперетачиваемыми пластинами (СНП). Как правило, такие пластины представляют собой сформированную режущую часть инструмента и в своем большинстве не имеют инструментального заднего угла. Углы $\alpha_с$ и $\alpha_{1с}$ у них обеспечиваются установкой пластины под соответствующими углами по отношению к осевой плоскости детали. Вследствие этого статические углы режущего инструмента $\gamma_с$ и $\lambda_с$ определяются как формой режущего лезвия самой пластины, так и ее установкой относительно заготовки. Для их расчета рационально использовать метод ортогонального проектирования.

В процессе резания, когда реализуются все движения инструмента и заготовки, кинематические (рабочие) углы режущей части инструмента

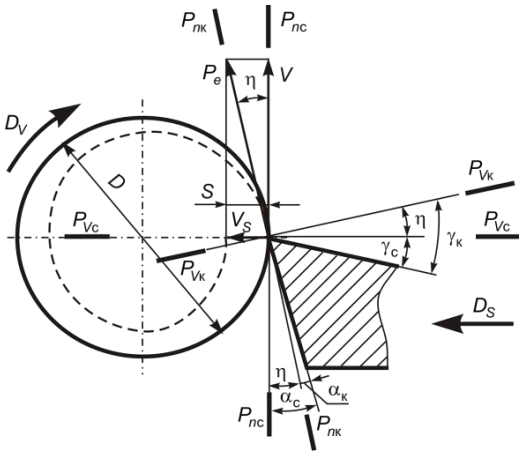


Рисунок 1.21 – Схема определения кинематических углов режущей части отрезного резца: $γ_к$, $α_к$, – кинематические передний и задний углы инструмента; $γ_c$, и $α_c$ – соответственно, передний и задний статические углы

определяются с помощью КСК, ориентированной относительно направления вектора скорости результирующего движения инструмента V_e. В процессе отрезания (рис. 1.21) необходимо учитывать главное движение резания D_r и движение подачи D_S. В этом случае основная плоскость $P_{vк}$ располагается перпендикулярно вектору результирующей скорости V_e, то есть поворачивается на угол скорости резания η. Поэтому кинематический передний угол $γ_к$ будет большим, а кинематический задний угол $α_к$ меньшим соответствующих статических углов $γ_c$ и $α_c$ (или в данном случае равных им углов заточки) на угол η.

При точении фасонной поверхности копировальным резцом (рис. 1.22) происходит изменение направления движения подачи D_S, а, значит, и положение плоскости $P_{Sк}$. В результате такого движения, кинематические углы в плане $φ_к$, $φ_{1к}$ в каждой рассматриваемой точке соответствующей режущей кромки будут переменными. Причем, по сравнению с позицией *1* в позиции *2* угол $φ_к$ уменьшается, а $φ_{1к}$ увеличивается; в позиции *3* угол $φ_к$ увеличивается, а $φ_{1к}$ уменьшается.

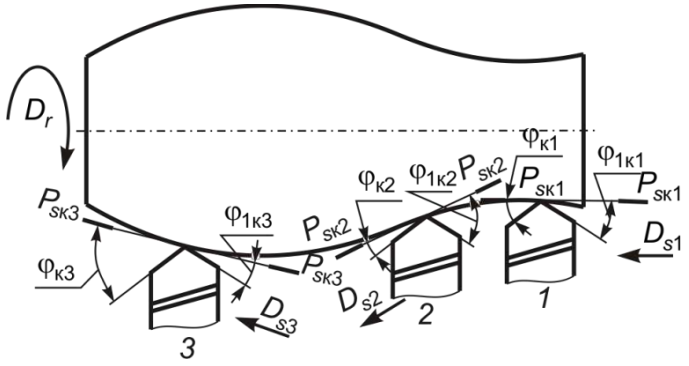


Рисунок 1.22 – Пример изменения кинематических углов в плане при точении фасонной поверхности

Основным условием при такой обработке является недопущение нулевого значения углов $φ_к$ или $φ_{1к}$ поскольку это приведет к подрезанию профиля детали.

Плоская передняя поверхность резца, изображенная на рис. 1.15, во многих случаях резания не является оптимальной. Если режущая часть инструмента изготовлена из быстрорежущей стали или твердого сплава, то в зависимости от вида обрабатываемого материала и условий работы рекомендуют три формы передней поверхности (рис. 1.23): криволинейная с фаской; плоская с фаской; плоская с положительным или отрицательным передним углом.

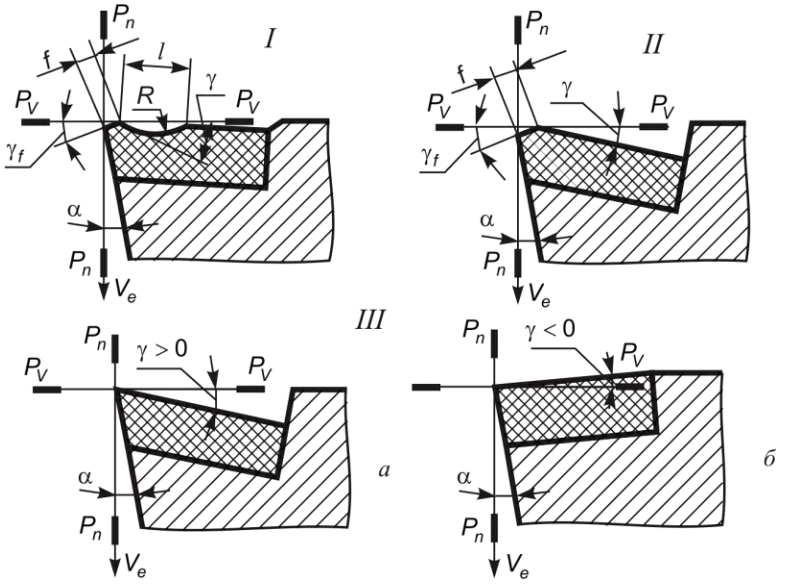


Рисунок 1.23 – Основные формы передней поверхности:
I – криволинейная с фаской; *II* – плоская с фаской; *III* – плоская:
а – с положительным углом γ; *б* – с отрицательным углом γ

Для каждой из указанных форм передней поверхности существуют рекомендованные области их эффективного применения.

Величина заднего угла α мало зависит от механических свойств материала обрабатываемой заготовки и определяется величиной подачи *S* или максимальной толщиной срезаемого слоя.

Величина главного (φ) и вспомогательного (φ_1) углов в плане зависит от назначения резца и жесткости технологической системы резания. Обычно φ = 30…90°, а φ_1 = 5…30°.

При $\lambda \neq 0$ меняется положение передней поверхности относительно направления скорости резания и направления схода стружки (рис. 1.24). Когда λ = 0, стружка сходит перпендикулярно режущей кромке. Если же $\lambda \neq 0$, то стружка кроме указанного движения V_c получает движение вдоль режущей кромки V_{c1} от высших ее точек к более низким: к вершине

(при $\lambda > 0$) или от вершины (при $\lambda < 0$), при этом дополнительно деформируясь. Поэтому при $\lambda > 0$ (вершина инструмента – самая низкая точка режущей кромки) стружка отклоняется в сторону обработанной поверхности (задней бабки токарного станка). Она меньше поддается запутыванию и поэтому считается более безопасной. Следовательно, инструмент с $\lambda > 0$ рекомендуется при черновой обработке, когда стружка толстая и хуже ломается.

При $\lambda < 0$ стружка отклоняется от обработанной поверхности, не повреждает ее и потому является более желательной при чистовой обработке.

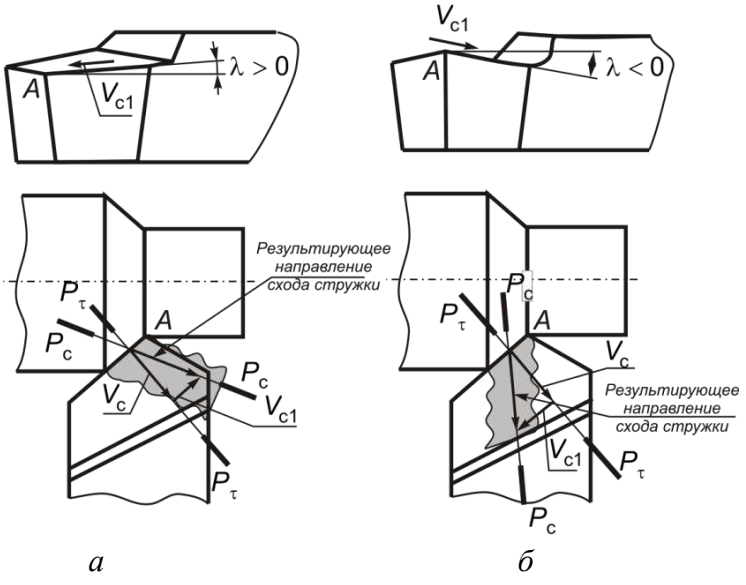


Рисунок 1.24 – Влияние угла наклона главной режущей кромки на направление схода стружки

Угол наклона главной режущей кромки λ определяет место расположения точки *A* на режущей кромке, где происходит первый контакт (удар) со срезаемым слоем (припуском) (см. рис. 1.17). При $\lambda < 0$ этой точкой является наиболее слабая вершина инструмента, что может привести к ее разрушению. Поэтому у резцов с пластинами из твердого сплава угол λ всегда положительный ($\lambda = 0…5°$). При прерывистом резании, независимо от вида инструментального материала, резцы имеют положительный угол наклона главной режущей кромки, величина которого лежит в пределах $\lambda = 10…30°$.

При непрерывном резании резцами из быстрорежущей стали при черновой обработке рекомендуется $\lambda = 0…4°$, а при чистовой обработке $\lambda = 0…–4°$.

Лекция 3. Элементы режима резания и параметры сечения срезаемого слоя

Как уже указывалось ранее, принципиальная кинематическая схема при продольном точении состоит из двух движений (см. рис. 1.3 *а*):

• ***главного движения резания*** D_r – равномерного вращательного движения заготовки с числом оборотов в минуту (частотой вращения) – n, об/мин;

• ***движения подачи*** D_S – поступательного движения резца вдоль или перпендикулярно оси заготовки со скоростью V_S, которая является фактически минутной подачей резца – $S_{мин}$, мм/мин.

Комбинация скорости резания, подачи и глубины резания называется режимом резания. Определение их оптимальных значений и является целью работы инженера-технолога.

Скорость резания численно равняется круговой скорости вращения точки заготовки, расположенной на поверхности резания максимального диаметра D, мм, и определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi D n}{1000};$$

При точении чаще используется подача на один оборот заготовки, поскольку именно она определяет качество обработанной поверхности и размеры срезаемого слоя:

$$S = \frac{S_{мин}}{n}.$$

В результате реализации движений резания и подачи с обрабатываемой поверхности заготовки отделяется слой материала глубиной t.

При продольном точении (см. рис. 1.3 *а*) глубину резания определяют по формуле:

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

Пусть заготовка на рис. 1.3 *а* сделает один оборот. За это время резец переместится вдоль ее оси на расстояние S и поверхность резания *2* пере-

местится в положение, показанное пунктиром. Слой материала, расположенный между этими положениями, будет срезан и превратится в стружку. Рассечем этот слой плоскостью, которая проходит через ось вращения заготовки. В сечении получим параллелограмм с основанием S (S_0), высотой t и сторонами, наклоненными к направлению движения подачи под углом φ. Полученный параллелограмм называют сечением срезаемого слоя, а его размеры t и S – ***технологическими параметрами сечения срезаемого слоя.***

Однако условия нагружения режущего лезвия при любом методе обработки более точно характеризуются ***физическими параметрами сечения срезаемого слоя***: толщиной a и шириной b (рис. 1.25). Кроме них еще используется параметр – длина активной части режущей кромки – l. Физические и технологические параметры срезаемого слоя связаны между собой следующими соотношениями:

$$a = S\sin\varphi;\quad b = \frac{t}{\sin\varphi}.$$

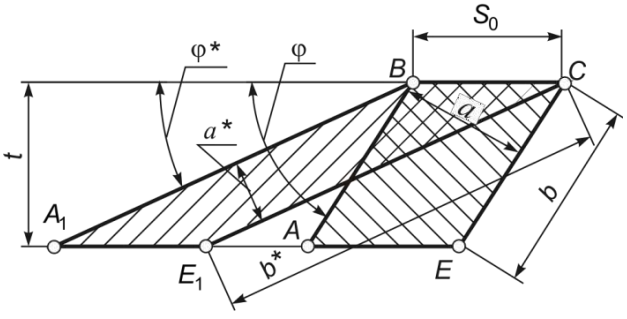


Рисунок 1.25 – Характеристики сечения срезаемого слоя при продольном точении

Как видно из приведенных формул, при тех же технологических размерах S и t физические параметры срезаемого слоя a и b зависят от главного угла в плане φ. При его увеличении отношение b/a уменьшается и срезаемый слой становится толще и уже, не смотря на то, что площадь его сечения $f=a\times b=S\times t$ остается такой же. Таким образом, физические параметры дают лучшее представление о форме сечения срезаемого слоя, чем технологические. Кроме этого, при некоторых методах обработки глубина резания как технологический размер срезаемого слоя может не существовать. Понятия же толщины и ширины срезаемого слоя имеют место всегда.

Сверление, равно как и точение, характеризуется принципиальной кинематической схемой, основанной на сочетании двух равномерных движений: вращательного и поступательного. Вращательное движение, совершаемое инструментом или заготовкой, является главным движением

резания. При работе на сверлильных станках главное движение резания выполняет инструмент, а на станках токарной группы – заготовка.

Винтовые сверла предназначены для образования отверстия в сплошном материале (сверления отверстий) и (или) увеличения диаметра имеющегося отверстия (рассверливания), глубина которых не превышает десяти диаметров сверла. При сверлении такими сверлами можно получить поверхности 10 ... 12 квалитета точности с шероховатостью $R_a = 10…20$ мкм. Сверло состоит из рабочей и хвостовой частей (рис. 1.26). Хвостовая часть служит для базирования и закрепления сверла на станке.

Рабочая часть состоит из двух частей: режущей и калибрующей. На режущей части расположены два режущих лезвия сверла. Калибрующая часть сверла для уменьшения трения соприкасается с отверстием только по шлифованным винтовым ленточкам, которые расположены по краям винтовых канавок. Эти канавки служат для транспортировки стружки из зоны резания. Диаметр калибрующей части уменьшается от режущей части к хвостовику с целью уменьшения трения сверла с формируемой (обработанной) поверхностью. Эта конструктивная особенность называется обратной конусностью калибрующей части.

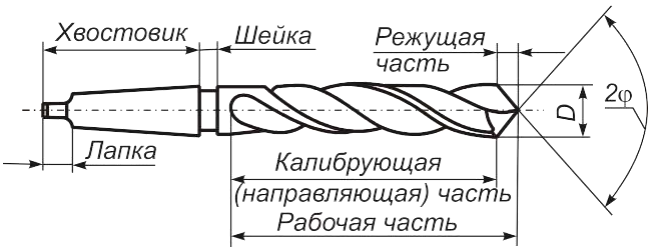


Рисунок 1.26 – Общий вид и основные элементы конструкции винтового сверла

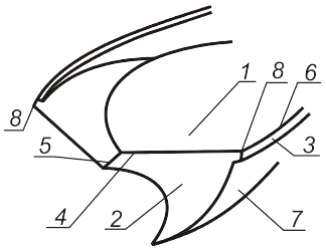


Рисунок 1.27 – Поверхности и лезвия рабочей части винтового сверла

На рис. 1.27 изображено место перехода режущей части сверла в калибрующую. На поверхностях винтовых стружечных канавок *1* образуется и сходит стружка, т. е. они являются передними поверхностями сверла. Главную режущую кромку сверла *4* с достаточной точностью можно считать прямой линией. Поэтому передняя поверхность *1* являет собой линейчатую винтовую поверхность, которая плавно сопрягается с криволинейной винтовой поверхностью нерабочей части стружечной канавки, т. е. представляет собой винтовую поверхность, которая состоит из семейства винтовых линий, имеющих одинаковый шаг и разный диаметр.

Главные задние поверхности *2* в зависимости от способа заточки могут быть коническими, линейчатыми винтовыми поверхностями или плоскостями.

Часть ленточки *3* вблизи вершины сверла *8* является вспомогательной задней поверхностью. Для уменьшения трения между сверлом и стенкой отверстия спинка сверла *7* занижена относительно ленточки.

В результате пересечения главных задних поверхностей образуется переходная режущая кромка *5* длиной $l_п$, наклоненная под углом $\psi = 50…55°$ к проекции главной режущей кромки на торцевую плоскость. Кромка *5* называется поперечной режущей кромкой или перемычкой. Вспомогательная режущая кромка *6* является конической винтовой линией с очень малой конусностью. Таким образом, сверло имеет две передние, две главные и две вспомогательные задние поверхности, две главные и две вспомогательные режущие кромки и одну поперечную кромку.

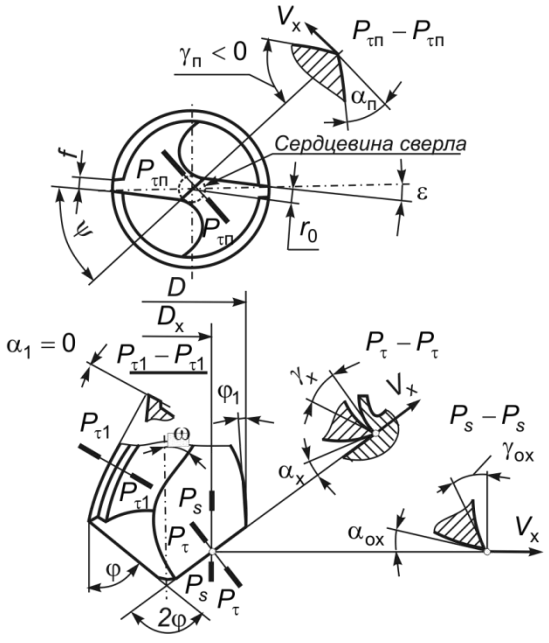


Рисунок 1.28 – Геометрические параметры сверла

Для большей прочности сверла главные режущие кромки размещены не в осевой плоскости, а симметрично смещены относительно оси сверла на расстояние r_0 (рис. 1.28). Полученное центральное утолщение называют сердцевиной сверла.

Для сверла принято рассматривать статические углы режущей части. Поскольку у сверла есть две симметричных режущих кромки, то вместо угла φ для резца в основной плоскости сверла рассматривают угол при вершине 2φ, называемый двойной угол в плане. У стандартных сверл величина двойного угла в плане $2\varphi = 118…120°$. У сверл специальных, проектируемых для определенной операции, величина угла 2φ зависит от твердости и прочности материала обрабатываемой заготовки, возрастая при увеличении последних. В этом случае угол 2φ может изменяться в пределах 90…140°.

Углом наклона винтовой канавки на максимальном диаметре ω называется угол между касательной к винтовой линии вспомогательной режущей кромки на калибрующей части и линией, параллельной оси сверла.

Параметры сечения срезаемого слоя – толщина a и ширина b (из анализа рис. 1.29):

$$a = S_z \sin\varphi = \frac{S}{2}\sin\varphi; \qquad b = (D - l_n)/(2\sin\varphi).$$

Фреза – многолезвийный инструмент с вращательным главным движением резания, применяемый для обработки плоскостей, пазов, шлицев, тел вращения, резьбы, фасонных поверхностей и разрезания заготовок. Одновременное участие в работе нескольких зубьев обеспечивает высокую производительность обработки.

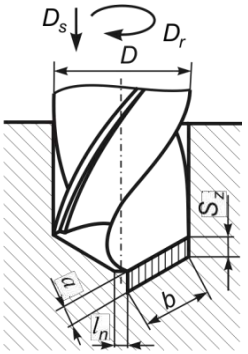
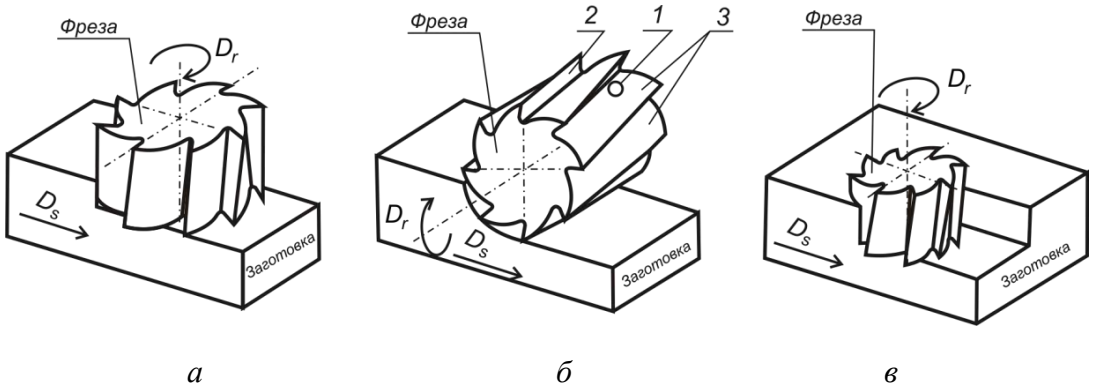


Рисунок 1.29 – Параметры сечения срезаемого слоя при сверлении

Фреза являет собой тело вращения, на периферийной поверхности или на торце которого размещены режущие зубья. Невзирая на большое разнообразие фрез, схема их работы соответствует цилиндрическому (периферийному) или торцевому фрезерованию (рис. 1.30).



а *б* *в*

Рисунок 1.30 – Виды фрезерования:
а – торцевое; *б* – цилиндрическое; *в* – комбинированное (смешанное)

При торцевом фрезеровании (см. рис. 1.30 *а*) ось фрезы перпендикулярна к обработанной поверхности. Кроме зубьев, расположенных на цилиндрической поверхности, работают также зубья, которые находятся на торце и формируют обработанную поверхность.

При цилиндрическом (периферийном) фрезеровании (см. рис. 1.30 *б*) ось фрезы параллельна обработанной поверхности, формирование которой

выполняется зубьями, расположенными на цилиндрической (периферийной) поверхности фрезы. В некоторых случаях (например, фрезерование уступов или пазов) рассматривают смешанное (комбинированное) фрезерование (см. рис. 1.30 *в*), которое имеет признаки как периферийного, так и торцевого.

Цилиндрическая фреза – это цилиндрическое тело (см. рис. 1.30 *б*), на поверхности которого в продольном направлении прорезаны прямые или винтовые канавки *1* для размещения стружки. Часть канавки, по которой сходит стружка, является передней поверхностью *2* зуба фрезы, а другая часть, которая прилегает к поверхности цилиндра, – задней *3*. Вместе они образуют главное режущее лезвие. На пересечении передней поверхности канавки с цилиндрической поверхностью образуются режущие кромки. Для более плавной работы фрезы и увеличения количества одновременно работающих зубьев стружечные канавки, как правило, делают винтовыми.

Фрезерование, равно как точение и сверление, характеризуется кинематической схемой, основанной на соединении двух равномерных движений: вращательного и поступательного.

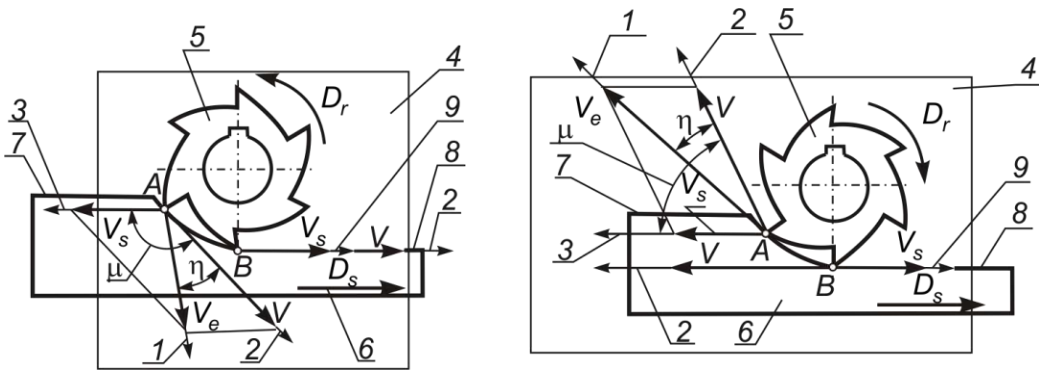
Вращательное движение, осуществляемое инструментом – фрезой, является главным движением резания. Поступательное движение заготовки является движением подачи. Скорость этого движения определяют: минутной подачей $S_{мин}$, подачей на оборот S инструмента, и подачей на зуб фрезы S_z.

Значениями подачи на зуб S_z пользуются при теоретических исследованиях и расчете режимов резания при фрезеровании. В производственных условиях, например, при наладке фрезерных станков используют минутную подачу $S_{мин}$. Это связано с тем, что у большинства фрезерных станков отсутствует кинематическая связь между шпинделем и механизмом подачи, который имеет свой наладочный привод.

При фрезеровании возможны две комбинации направлений вращения фрезы и перемещения заготовки (рис. 1.31).

Если векторы скоростей резания V и подачи V_S в точке B контакта с обработанной поверхностью направлены в противоположные стороны (рис. 1.31 *б*), то такое фрезерование называют встречным, а если в одну сторону (рис. 1.31 *а*) – попутным. Встречное и попутное фрезерование используется одинаково часто.

Толщина слоя материала, который удаляется с заготовки за один проход, измеренная перпендикулярно обработанной поверхности, является глубиной резания t (рис. 1.32).



а *б*

Рисунок 1.31 – Элементы движений в процессе резания при попутном (*а*) и встречном (*б*) периферийном фрезеровании:
1 – направление скорости результирующего движения резания;
2 – направление скорости главного движения резания; *3*, *9* – направление скорости движения подачи; *4* – рабочая плоскость; *5* – инструмент; *6* – заготовка;
7 – обрабатываемая поверхность; *8* – обработанная поверхность;
1–3 – движения заданных точек *A* и *B* на лезвии инструмента;
9 – движение заданной точки *B* на заготовке

Мгновенное положение точки лезвия зуба фрезы на поверхности резания определяется мгновенным углом контакта θ, измеряемым от точки входа зуба в срезаемый слой. В сечении плоскостью, перпендикулярной к оси фрезы, мгновенная толщина срезаемого слоя *a,* определяемая как расстояние между соседними положениями поверхности резания, может быть найдена из треугольника *q–n–p* (рис. 1.32 *а*, *б*). Отмеченный треугольник с некоторым приближением можно считать прямоугольным с гипотенузой, равной подаче на зуб S_z. Угол треугольника *q–n–p*, лежащий напротив катета *a*, равняется мгновенному углу контакта θ.

Отсюда получаем:

$$a = S_z \sin\theta.$$

Поскольку все точки режущей кромки фрезы лежат на цилиндрической поверхности резания, то мгновенная толщина срезаемого слоя для любого угла наклона винтовой канавки ω, в том числе и равного нулю, соответствует одинаковому мгновенному углу контакта и определяется тем самым отрезком *pq*, т. е. не зависит от угла ω.

Найдем мгновенную площадь *f* сечения срезаемого слоя для винтового лезвия зуба фрезы. Указанная площадь, очевидно, равняется площади эпюры, изображенной на рис. 1.32 *а*. Выберем на режущей кромке зуба

точку на расстоянии x от ее конца. Элементарный участок кромки dx (см. рис. 1.32 *в*) срезает слой толщиной a_x с поперечным сечением площадью df:

$$dx = \frac{D\ d\theta}{2\sin\omega}, \qquad df = a_x\, dx = a_x \frac{D\ d\theta}{2\sin\omega} = \frac{S_z D \sin\theta}{2\sin\omega} d\theta.$$

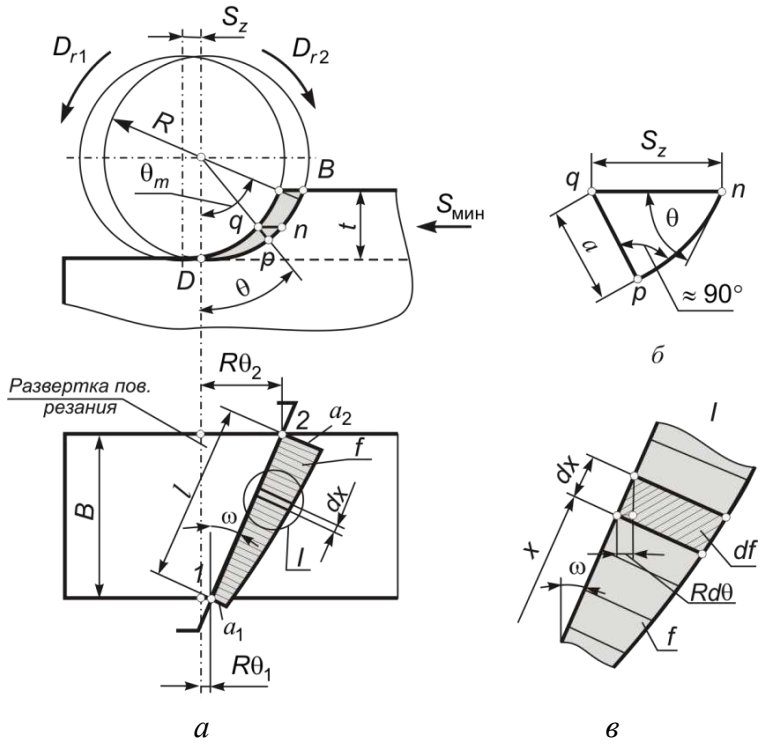


Рисунок 1.32 – Элементы режима резания и параметры сечения срезаемого слоя при фрезеровании цилиндрическими фрезами

Мгновенное поперечное сечение слоя, срезаемого винтовым зубом фрезы:

$$f = \int_{\theta_1}^{\theta_2} df = \frac{\Upsilon_z S_z D}{2\sin\omega}\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\Upsilon_z S_z D}{2\sin\omega}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2).$$

Из последнего выражения видно, что в ходе движения зуба фрезы по поверхности резания площадь сечения срезаемого слоя также является переменной.

Протяжка – инструмент, предназначенный для обработки плоскостей и фасонных замкнутых и незамкнутых поверхностей. Если необходимо получить только точные размеры протягиваемого контура, то такое протягивание называют свободным. Если протягивается контур, который должен быть расположен на определенном расстоянии от каких-либо поверхностей детали, протягивание называют координатным. Протяжки, предназначенные для обработки замкнутых контуров, называют ***внутренними***, а незамкнутых – ***наружными***.

Рабочая часть протяжки состоит из режущей и калибрующей частей (рис. 1.33). На режущей части расположены режущие зубья, которые снимают припуск, предусмотренный под протягивание. Для того чтобы режущие зубья могли последовательно срезать припуск тонкими слоями, каждый следующий зуб имеет превышение S_z над предыдущим, называемое ***подъемом на зуб*** или ***конструктивной подачей***. Подъем на зуб может быть одинаковым для всех режущих зубьев или изменяться при переходе от одной группы зубьев к другой.

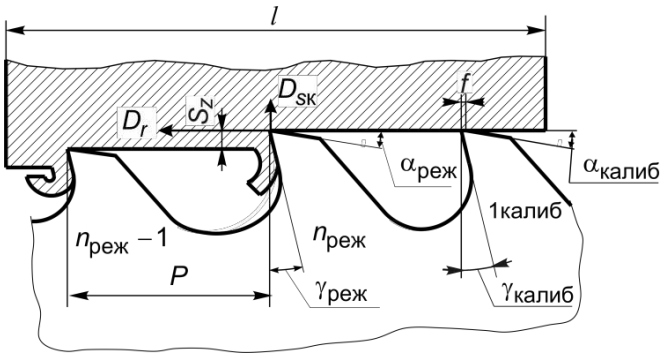


Рисунок 1.33 – Схема срезания слоя материала зубьями протяжки;
размеры и геометрические параметры режущих и калибрующих зубьев протяжки

На калибрующей части расположены калибрующие зубья одинаковой высоты (подъем зубьев равняется нулю). Калибрующие зубья выполняют две функции: они калибруют контур, придавая ему окончательные размеры и форму, и служат резервом для режущих зубьев. После того, как последний режущий зуб в результате переточек потеряет свои размеры, первый калибрующий становится последним режущим зубом и т. д.

Важнейшим конструктивным элементом, который определяет эффективность работы протяжки, является подъем зубьев S_z. Установлено, что минимальный подъем зубьев протяжки не должен быть меньше радиуса округления ρ режущей кромки и обычно он составляет 0,02 мм.

Только при заточке протяжки алмазными или кубонитовыми (эльборовыми) кругами минимальный подъем зубьев может быть уменьшен до 0,01 мм.

Стружка, срезаемая зубом протяжки, должна свободно разместиться в стружечной канавке. Если это не произойдет, то стружка заклинится в канавке, стружкообразование прекратится, что может привести к поломке зуба или всей протяжки. При нормальном протекании процесса резания стружечный валик в поперечном сечении имеет вид витков стружки, свернутых в спираль, которая напоминает спираль Архимеда. Эта стружка может разместиться в активной части стружечной канавки, очерченной кругом радиуса $R = h/2$ (рис. 1.34).

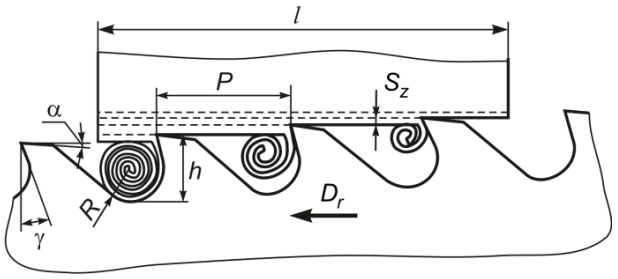


Рисунок 1.34 – Схема размещения стружки в стружечной канавке протяжки

Статический передний угол протяжки, равно как и других инструментов, определяется прочностью и твердостью материала обрабатываемой заготовки, уменьшаясь при их увеличении. Его величина находится в пределах 5…25°. Особенностью внутренних протяжек является очень малая величина статического заднего угла, равная 3…4°. Последнее связано с желанием максимально сохранить размеры зубьев протяжки при переточках и уменьшить неизбежное изменение подъема зубьев. Для внешних протяжек, которые имеют элементы регулирования высоты зубьев, это ограничение на задний угол отсутствует. Для большей плавности врезания зубьев их наклоняют относительно направления главного движения, создавая таким образом статический угол λ (рис. 1.35).

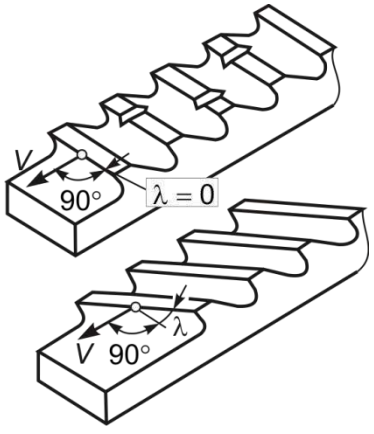


Рисунок 1.35 – Расположение зубьев протяжки относительно скорости главного движения

Шаг и размеры калибрующих зубьев обычно делают такими же, как и режущих. Для

того чтобы стружка скручивалась в стружечный валик, затем легче удалялась, на режущих зубьях протяжек, предназначенных для обработки пластичных материалов, делают стружкоделительные канавки (рис. 1.36). Благодаря таким канавкам стружечный валик делится на несколько частей шириной 8…10 мм, и в конце рабочего хода протяжки стружечные канавки легко очищаются от стружки.

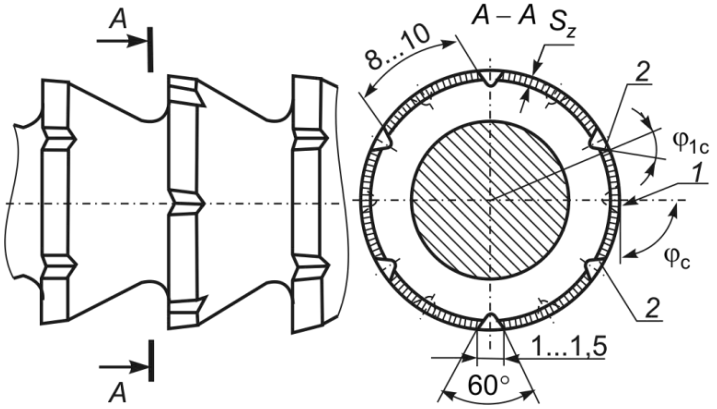


Рисунок 1.36 – Стружкоделительные канавки на режущих зубьях протяжки

Стружкоделительные канавки имеют треугольную форму с углом 60…90° и шириной 1...1,5 мм. При этом на каждой части разделенного режущего лезвия *1* образуются вспомогательные режущие кромки *2* (см. рис. 1.36). На соседних зубьях стружкоделительные канавки смещают по окружности в шахматном порядке. При обработке хрупких материалов благодаря образованию элементной или стружки надлома в стружкоделительных канавках нет необходимости.

Принципиальная кинематическая схема протягивания основывается на единственном прямолинейном движении, осуществляемом протяжкою или заготовкой. Это движение является главным движением резания, а скорость его определяет скорость резания. Движение подачи заложено в конструкции протяжки в виде подъема на зуб. Врезаясь, каждый зуб (см. рис. 1.33 и 1.34) как бы поднимается, осуществляя движение подачи. Поскольку это движение происходит без участия механизма подачи станка, такая подача называется конструктивной или скрытой, а подача на зуб протяжки численно равняется подъему режущих зубьев.

Размеры слоя материала, срезаемого зубом протяжки, определяются формой и размерами обрабатываемого контура, подъемом на зуб протяжки и схемой резания. Под схемой резания понимают последовательность сре-

зания режущими зубьями протяжки припуска, предусмотренного под протягивание.

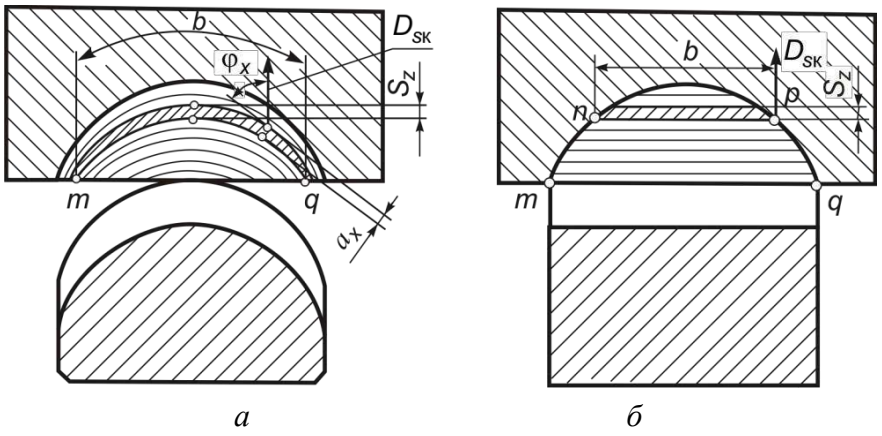
Схемы резания, применяемые при протягивании, можно классифицировать по двум признакам:

1) по способу профилирования протягиваемого контура;

2) по схеме срезания слоя каждым режущим зубом протяжки.

По первому признаку схемы резания разделяются на профильную и генераторную, а по второму – на схемы одинарного и группового резания.

Принципиальные отличия профильной и генераторной схем резания показаны на примере протягивания вогнутого дугового незамкнутого контура (см. рис. 1.37).



а *б*

Рисунок 1.37 – Профильная и генераторная схемы резания при протягивании

Профильная схема резания (см. рис. 1.37 *а*) характерна тем, что контур режущей кромки, которая очерчивает каждый зуб протяжки, по форме является копией обрабатываемого профиля. Окончательный контур детали формируется последней главной режущей кромкой.

При протягивании по генераторной схеме (см. рис. 1.37 *б*) каждый режущий зуб протяжки имеет три кромки: прямолинейную главную *np* и две вспомогательных *mn* и *pq*, очерченных по форме обрабатываемого профиля. Форма главной режущей кромки для простоты изготовления протяжки, как правило, очерчивается прямой линией или дугой окружности. Слой материала, срезаемый любым режущим зубом, при прямолинейной форме главного лезвия являет собой полосу шириной *b*, равную рабочей длине главного лезвия, и постоянной толщины S_z, равной подъему на зуб протяжки. Контур детали в этом случае формируется не последним режущим зубом протяжки, а вспомогательными кромками всех ее режу-

щих зубьев, т. е. ***генерируется*** частями. Протяжки, спроектированные по профильной схеме резания, называют профильными, а по генераторной схеме – генераторными.

Протяжки, спроектированные по ***одинарной схеме*** резания, срезают стружку по всей длине профиля детали. По этому признаку изображенные на рис. 1.37 профильная и генераторная схемы являются схемами одинарного резания. Длина такого контура (а, значит, силы резания) может быть значительной, что вынуждает уменьшать подъем на зуб, а соответственно – увеличивать число режущих зубьев и длину протяжки.

У протяжек, спроектированных по схеме ***группового резания*** (протяжки переменного резания), стружка толщиной S_z срезается не одним зубом, а группой зубьев, каждый из которых имеет одинаковую высоту, но срезает только часть слоя по ширине.