

**ЛЕКЦИИ ПО КУРСУ
МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ЗАГОТОВОК**

ВВЕДЕНИЕ

Принимая во внимание, что определения геометрических параметров, элементов режима резания и геометрии срезаемого слоя аналогичны для большинства методов механической обработки и режущих инструментов и рассмотрены ранее в курсе «Основы теории резания металлов» в данном курсе они не приводятся.

Все закономерности влияния различных факторов (геометрических параметров режущей части инструмента, элементов режима резания и др.) на силы резания, допускаемую скорость резания для различных методов механической обработки объясняются на основе аналогичных зависимостей для токарной обработки, рассмотренных в курсе «Основы теории резания металлов».

Модуль 1. Стругание

1.1. Особенности процесса стругания

Стругание применяется для обработки плоских и фасонных поверхностей на поперечно-строгольных или продольно – строгольных станках.

Особенности процесса стругания:

1. Из-за наличия возвратно-поступательного движения для уменьшения сил инерции снижается скорость главного движения.

2. Инструмент находится в контакте с заготовкой только при рабочем ходе, при обратном ходе он не участвует в процессе резания.

3. В контакт с заготовкой РИ входит с ударом, что может привести к разрушению режущей части РИ. По этой причине строгольные резцы более массивные по сравнению с токарными.

4. Для исключения или уменьшения «заедания» резцы делают изогнутыми (рис. 1) (для формы (б) изгиб стержня резца вокруг точки О под действием сил стругания вызывает внедрение вершины резца в обрабатываемую поверхность заготовки, для формы (а) этого не происходит).

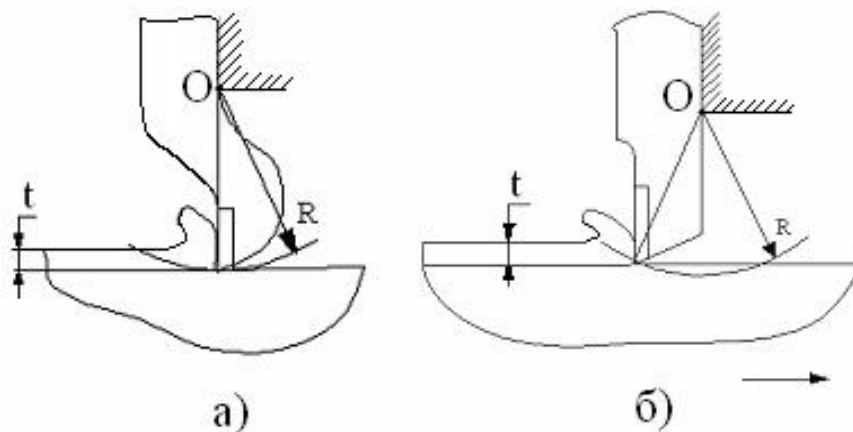


Рис. 1. Форма строгольных резцов

1.2. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Рассмотрим элементы режима резания и геометрию срезаемого слоя при строгании на поперечно-строгальном станке.

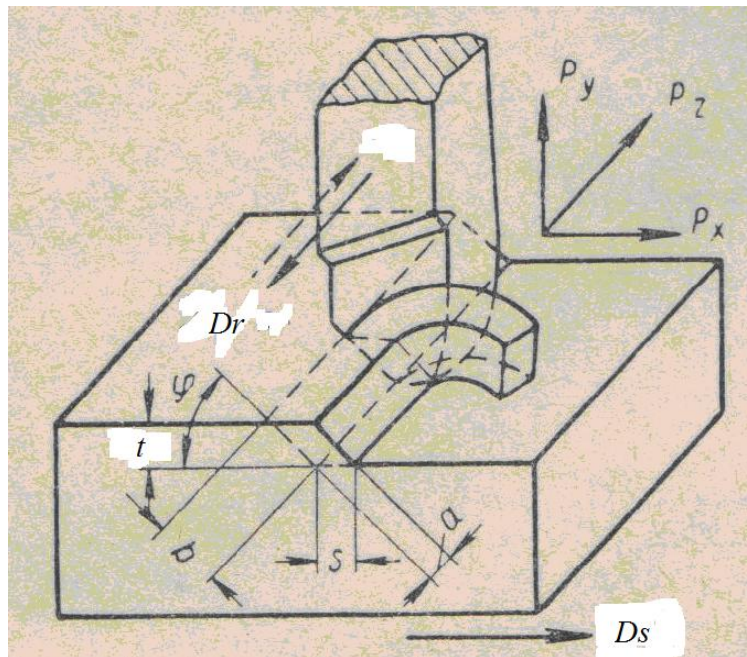


Рис. 2. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Главным движением D_r при строгании является возвратно-поступательное движение резца, движением подачи D_s – перемещение заготовки в направлении перпендикулярном главному движению (рис. 2). Процесс резания проходит во время рабочего хода резца, при обратном ходе он отсутствует.

1. Скорость главного движения

$$V = \frac{kL}{1000}(1 + m),$$

где k – число двойных ходов (двойной ход/мин); L – длина хода инструмента (мм)

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где l – длина обработанной поверхности, мм; l_1, l_2 – дополнительные длины, мм (рис. 3, б); m – коэффициент, учитывающий обратный ход инструмента

$$m = \frac{V_{p.x}}{V_{x.x}},$$

где $V_{p.x}$ и $V_{x.x}$ – соответственно скорости рабочего и холостого ходов инструмента).

2. t – глубина резания (мм).

3. Подача S – величина относительного перемещения резца и заготовки в направлении перпендикулярном к главному движению за один двойной ход (мм/дв. ход). Скорость движения подачи V_s (или минутная подача $S_{мин}$) равна

$$V_s = S_{\text{мин}} = S \times k \text{ (мм/мин)}.$$

4. T_0 – основное технологическое время

$$T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{B + \Delta + y}{kS}, \text{ (мин)},$$

где B – ширина обработанной поверхности, y и Δ – соответственно врезание и перебеги инструмента (мм) (рис. 3, а).

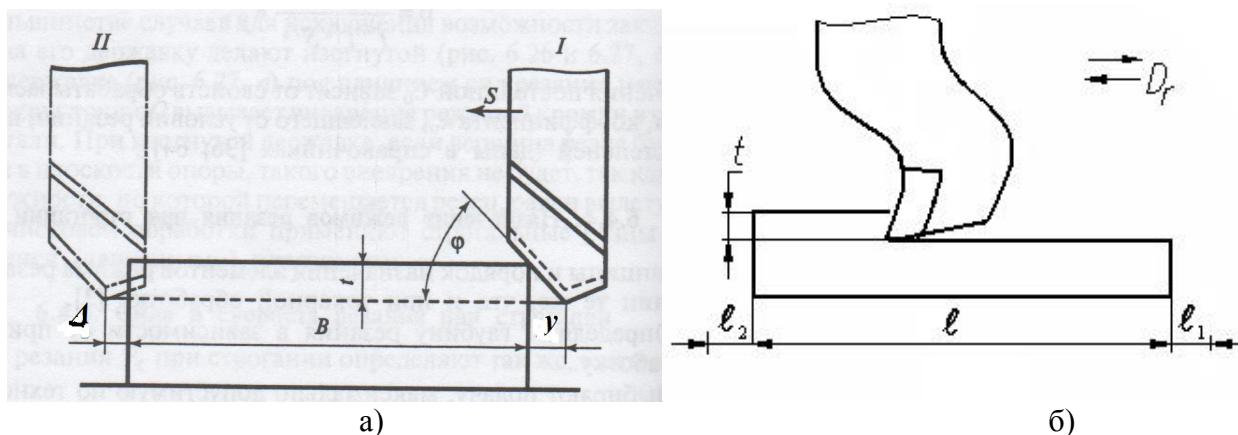


Рис. 3. Схемы к определению длины хода, врезания и перебега строгального резца

Геометрия срезаемого слоя:

- 1) толщина срезаемого слоя $a = S \times \sin \varphi$;
- 2) ширина срезаемого слоя $b = \frac{t}{\sin \varphi}$;
- 3) площадь срезаемого слоя $f = a \times b = S \times t$.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности процесса резания при строгании.
2. Перечислите элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя.
3. Дайте определение элементам режима резания.
4. Дайте определение параметрам геометрии срезаемого слоя.
5. Назовите причину низкой скорости главного движения.

Модуль 2. Сверление

2.1. Особенности процесса резания при сверлении

Сверление – это способ обработки резанием цилиндрических отверстий в сплошном металле. При сверлении достигается точность по 11 – 13 квалитету; шероховатость обработанной поверхности до $R_z 40$.

Особенности процесса резания при сверлении:

1. Переменная величина переднего угла γ и главного заднего угла α по длине режущей кромки.
2. Наличие поперечной кромки, которая не режет, а мнет металл.
3. Затруднен отвод стружки и подвод СОЖ в зону резания.
4. Трудности конструктивного обеспечения высокой жесткости сверла.

2.2. Конструктивные элементы и геометрия спирального сверла

Рассмотрим конструктивные элементы и геометрию спирального сверла (рис. 4).

Конструктивные элементы сверла:

l – рабочая часть, включающая в себя режущую и направляющую части; l_1 – режущая часть, имеющая главные режущие кромки 3; l_2 – направляющая часть, имеющая ленточки 5 и стружечные винтовые канавки – служит для направления сверла в отверстие; l_3 – крепежная часть (состоит из шейки 7, хвостовика 8, лапки 9); 1 – передняя поверхность; 2 – главная задняя поверхность; 3 – главная режущая кромка; 4 – поперечная кромка (перемычка) – определяет жесткость и прочность сверла и отрицательно сказывается на процессе сверления из-за отрицательного переднего угла на данной кромке; 5 – ленточка, часть которой (длиной $\approx S_0/2$) служит вспомогательной режущей кромкой (6).

К геометрическим параметрам сверла относятся:

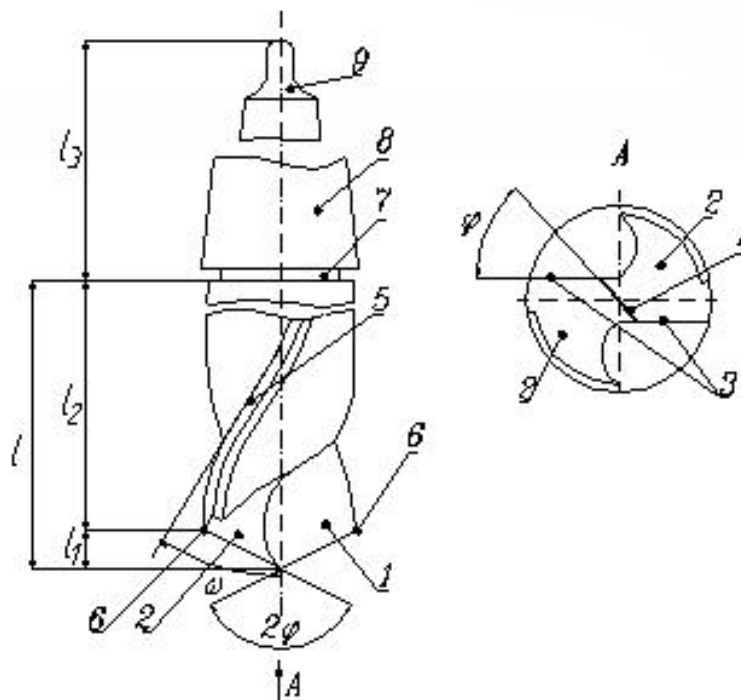


Рис. 4. Конструкция спирального сверла

Двойной угол в плане при вершине 2φ – это угол, заключенный между проекциями главных режущих кромок на плоскость, проходящую через ось сверла параллельно главным режущим кромкам ($2\varphi = 118 - 120^\circ$, измеряется в плоскости, проходящей через ось сверла параллельно главным режущим кромкам).

Угол наклона винтовой канавки ω – это угол между касательной к винтовой канавке и осью сверла ($\omega = 18 - 30^\circ$, измеряется в плоскости параллельной оси сверла).

Угол наклона поперечной кромки ψ – это угол между проекциями главной режущей кромки и поперечной кромки на плоскость перпендикулярную оси сверла ($\psi = 50 - 55^\circ$, измеряется в плоскости перпендикулярной оси сверла).

Главные углы сверла (рис. 5): Передний угол γ , измеряется в главной секущей плоскости и является переменной величиной по длине режущей кромки. Передний угол – угол, заключенный между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и основной плоскостью. В отличие от резцов передний угол на чертежах сверл не проставляют, так как форму и положение передней поверхности определяют шаг и угол наклона винтовой канавки.

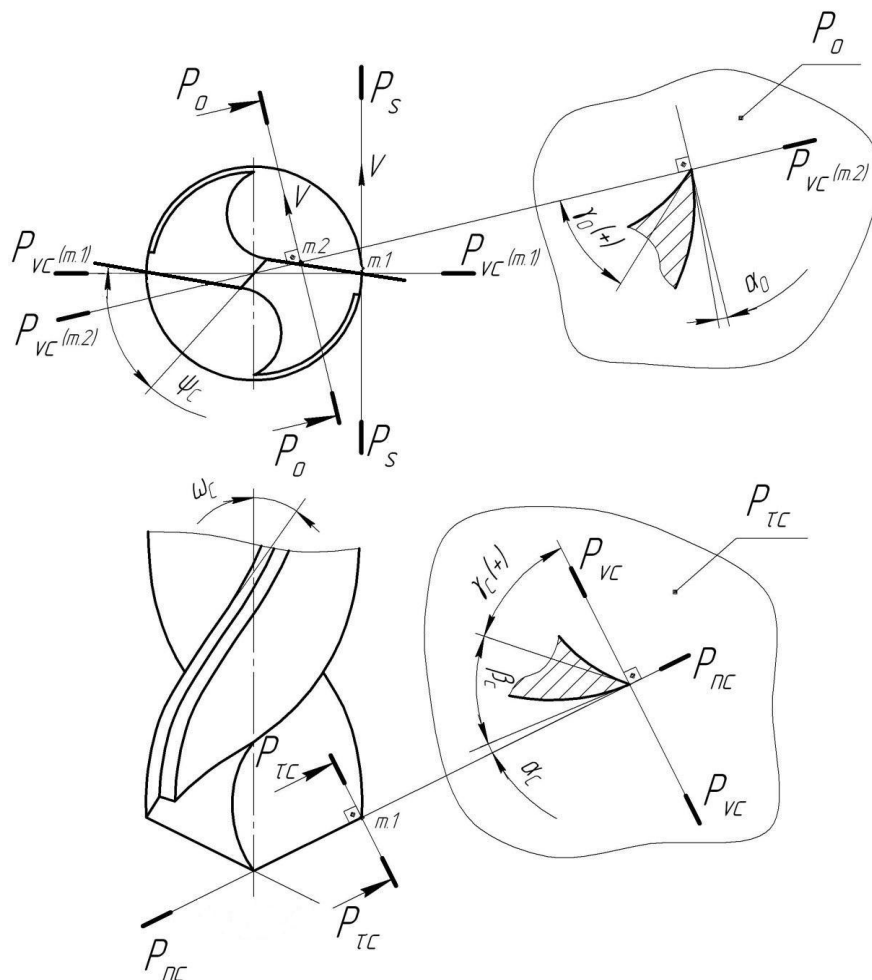


Рис. 5. Геометрические параметры спирального сверла

На рис. 6 показана развертка винтовой линии на плоскость. Передний угол в плоскости параллельной оси сверла γ_{0x} равен углу наклона винтовой линии ω_x . Из развертки винтовой линии сверла следует

$$\operatorname{tg}\gamma_{0x} = \operatorname{tg}\omega_x = \frac{\pi D_x}{H},$$

где H – шаг винтовой линии.

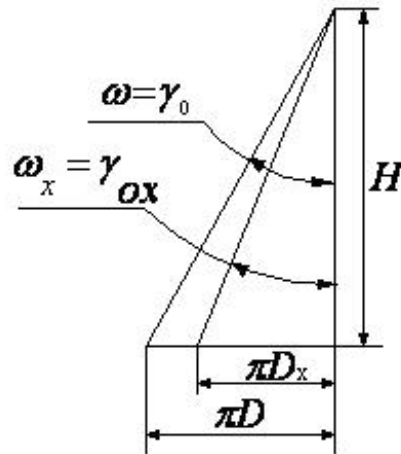


Рис. 6. Развёртка винтовых линий сверла

Шаг винтовой линии является величиной постоянной и независимой от диаметра сверла и равен

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Отсюда следует,

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{\pi D_x}{\pi D} \times \operatorname{tg} \omega.$$

Из полученной зависимости следует, что с увеличением диаметра сверла угол γ_0 возрастет. Передний угол в главной секущей плоскости γ связан с углом γ_0 зависимостью $\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma_0}{\sin \varphi}$ и так же будет увеличиваться от сердцевины сверла к периферии.

Главный задний угол α – измеряется в главной секущей плоскости, но при существующих средствах его измерения и контроля он задается в плоскости параллельной оси сверла. Главный задний угол α_0 – это угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной к окружности, возникающей при вращении данной точки вокруг оси сверла.

Для определения главного угла α в главной секущей плоскости делают перерасчет по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_0 \times \sin \varphi.$$

Главный задний угол образуется путем заточки сверла по задней поверхности. Угол α специально уменьшают к периферии (путем заточки сверла) для обеспечения равнопрочного режущего клина ($\beta = \text{const}$) по всей длине режущей кромки.

Геометрия сверла на поперечной кромке. Для этого рассечем поперечную кромку плоскостью $P_N - P_N$, перпендикулярную к ней.

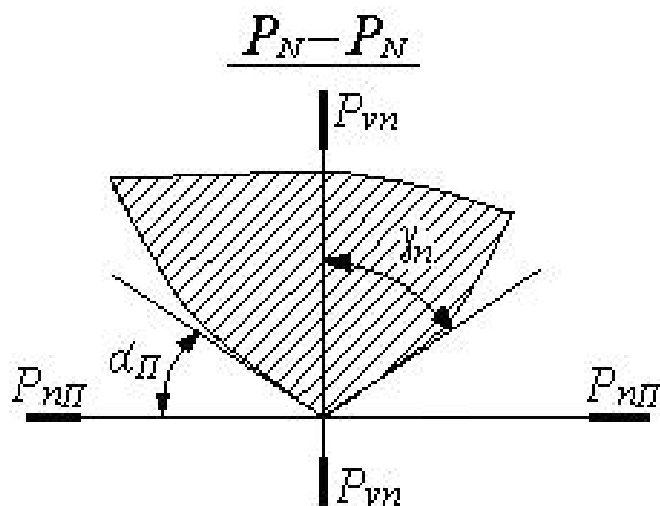


Рис. 7. Геометрия сверла на поперечной кромке

Как видно из рис. 7, передний угол на поперечной кромке γ_n является отрицательным, поэтому поперечная кромка не режет, а сминает металл.

2.3. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя при сверлении представлены на рис. 8.

1. Скорость главного движения $V = \frac{\pi D n}{1000}$ (м/мин).
2. Глубина резания $t = \frac{D}{2}$ (мм).

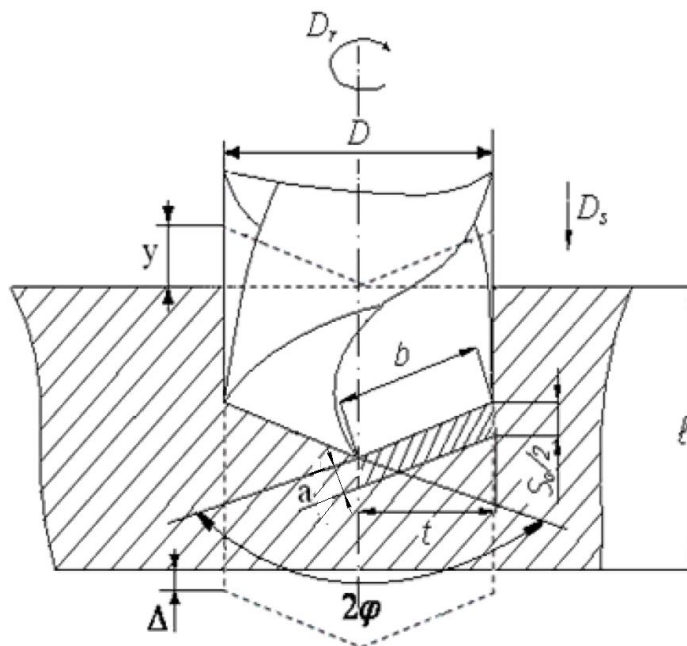


Рис. 8. Элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя

3. Подача на оборот S_0 (мм/об), на каждую режущую кромку приходится величина, равная $\frac{S_0}{2}$.

4. Скорость движения подачи (минутная подача) $V_s = S_{\text{мин}} = S_0 \times n$ (мм/мин).

5. Основное технологическое время $T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{l + y + \Delta}{S_0 \times n}$ (мин).

Геометрия срезаемого слоя:

1) толщина срезаемого слоя $a = \frac{S_0}{2} \times \sin \varphi$;

2) ширина срезаемого слоя $b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{D}{2 \sin \varphi}$;

3) площадь срезаемого слоя $f = a \times b = \frac{S_0 D}{4}$.

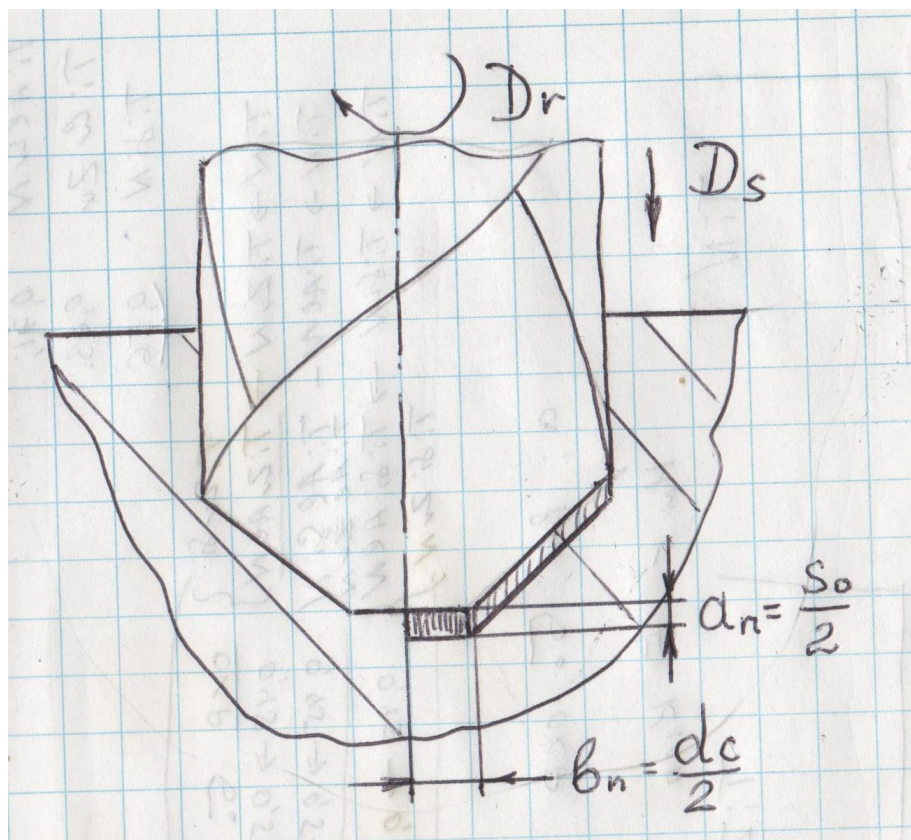


Рис. 9. Геометрия слоя на поперечной кромке

На поперечной кромке (рис. 9) толщина и ширина срезаемого слоя металла будут соответственно равны

$$a_n = \frac{S_0}{2} \text{ и } b_n = \frac{d_c}{2},$$

где d_c – диаметр сердцевины или длина поперечной кромки.

2.4. Осевая сила и крутящий момент при сверлении и влияние на них различных факторов

В процессе резания на сверло действует осевая сила P_0 , которая складывается из следующих составляющих

$$P_0 = 2 \times (P_x + P_n + P_{тр}),$$

где P_x – силы сопротивления на главной режущей кромке; P_n – силы сопротивления на поперечной кромке; $P_{тр}$ – силы трения, действующие на вспомогательной режущей кромке (рис. 10, а).

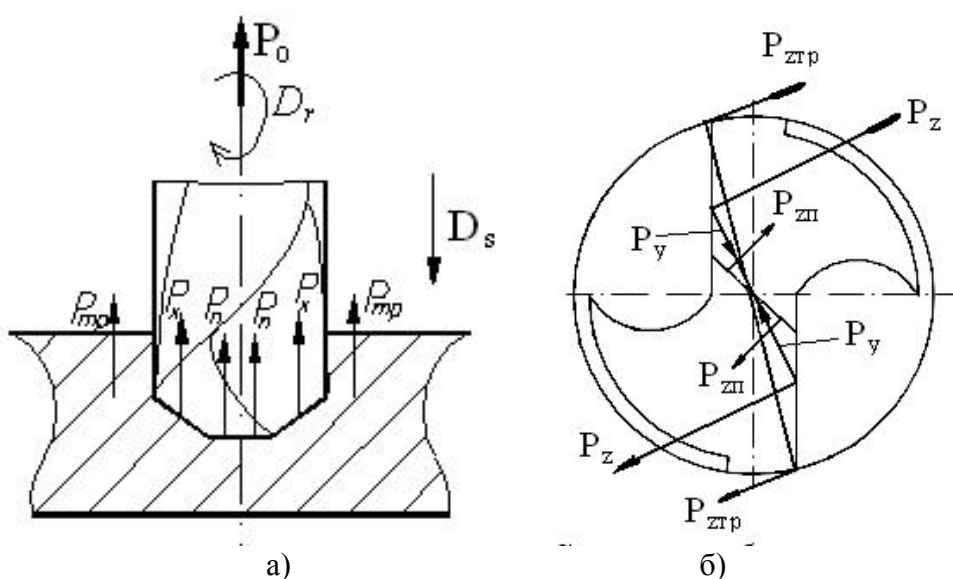


Рис. 10. Схема сил (а) и крутящих моментов (б), действующих на сверло в процессе резания

Силы P_y , действующие на обеих главных режущих кромках сверла и направленные на встречу друг другу, теоретически должны уравновешиваться. Однако, вследствие неточности заточки сверла (неодинаковой величине углов φ и длин главных режущих кромок) силы P_y не равны друг другу. Неравенство данных сил приводит к «разбиванию» отверстия (увеличению диаметра отверстия по сравнению с диаметром сверла). «Разбивание» отверстия вызывает другую погрешность – увод оси сверла от геометрической оси отверстия.

Наибольшая часть осевой силы приходится на поперечную кромку ($P_n = 57\%$), на режущую кромку несколько меньше ($P_x = 40\%$) и наименьшая – на вспомогательную кромку ($P_{тр} = 3\%$).

Осевая сила противодействует движению подачи. По ней рассчитывают на прочность детали механизма подачи станка. При больших вылетах осевая сила вызывает продольный изгиб сверла.

Осевую силу можно рассчитать по формуле

$$P_0 = C_p \times D^{x_p} \times S_0^{y_p} \times k_p,$$

где C_p – коэффициент, зависящий от свойств инструментального и обрабатываемого материалов и условий резания; x_p, y_p – показатели степени влияния соответственно диаметра и подачи на осевую силу; k_p – коэффициент на измененные условия резания.

Более точно осевую силу можно определить, исходя из формул для токарной обработки. Принимая во внимание соотношение сил P_x и P_n и пренебрегая силой $P_{тр}$ из-за ее малой величины, можно записать

$$P_0 = 2,5 P_x.$$

Подставляя в данное выражение формулу для расчета составляющей силы P_x при токарной обработке, получим

$$P_0 = 2,5 \times (C_{P_x} \times a^{Y_{P_x}} \times v^{X_{P_x}} \times K_{P_x}).$$

Учитывая выражения для определения толщины и ширины срезаемого слоя при сверлении и угол в плане φ , окончательно получим

$$P_0 = 2,5 \times \left(2^{1-X_{P_x}-Y_{P_x}} \times C_{P_x} \times D^{X_{P_x}} \times S^{Y_{P_x}} \times \sin \varphi^{1+Y_{P_x}-X_{P_x}} \right) \times k_{P_x}.$$

Значения коэффициента C_p , показателей степени x, y и коэффициента K_p берутся из таблиц для токарной обработки (аналогично и для других формул, которые будут рассматриваться далее).

Крутящий момент при сверлении образуется следующими силами: силами P_z , действующими на главных режущих кромках; силами P_{zn} , действующими на поперечной кромке; силами $P_{zтр}$, действующими на вспомогательных режущих кромках (рис. 10, б).

Отсюда следует,

$$M = M_{pz} + M_{pzп} + M_{pzтр},$$

где M_{pz} – момент от сил P_z , действующих на главных режущих кромках; $M_{pzп}$ – момент от сил P_{zn} , действующих на поперечной кромке; $M_{pzтр}$ – момент от сил трения, действующих на вспомогательных режущих кромках.

Большая часть крутящего момента приходится на главные режущие кромки (M_{pz} составляет 80%). На долю момента от сил трения приходится 12% и наименьший вклад в крутящий момент вносят силы P_{zn} (доля $M_{pzп}$ составляет 8%).

Эмпирическая формула для определения крутящего момента имеет вид:

$$M = C_M D^{X_M} S^{Y_M} k_M,$$

где C_M, x_M, y_M и k_M – коэффициенты и показатели степени аналогичные как в формуле для определения осевой силы P_0 .

Определить крутящий момент можно исходя из формул для токарной обработки. Учитывая соотношение моментов от сил резания, можно записать

$$M = 1,25 \times M_{pz} = 1,25 \times P_z \times \frac{D}{2}.$$

Подставляя в данное выражение формулу для расчета силы P_z , толщины и ширины срезаемого слоя, получим

$$M = 1,25 \times 2^{(-1-X_{P_z}-Y_{P_z})} C_{P_z} D^{1+X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} \sin \varphi^{Y_{P_z}-X_{P_z}} k_{P_z}.$$

По крутящему моменту рассчитывают на прочность и жесткость шпиндель и детали механизмов привода главного движения станка.

Влияние подачи и диаметра сверла. Увеличение подачи и диаметра сверла ведет к росту площади срезаемого слоя и объёму снимаемого материала, что вызывает повышение осевой силы и крутящего момента (рис. 11).

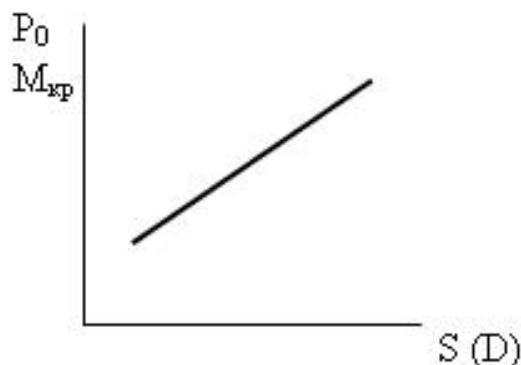


Рис. 11. Влияние подачи и диаметра на осевую силу и крутящий момент

Большее влияние на величины P_0 и $M_{кр}$ оказывает диаметр, чем подача, т.к. диаметр при сверлении определяет глубину резания ($t = \frac{D}{2}$). При этом если подача примерно одинаково влияет как на осевую силу, так и на крутящий момент, то диаметр больше влияет на величину $M_{кр}$, чем на P_0 . Это объясняется тем, что при увеличении диаметра D увеличивается не только сила P_z , но и плечо, на котором действует данная сила.

Влияние геометрических параметров сверла на осевую силу и крутящий момент представлено на рис.12. Увеличение угла наклона винтовой линии ω вызывает снижение осевой силы и крутящего момента. Это объясняется тем, что повышение угла наклона винтовой линии вызывает рост переднего угла γ , что облегчает процесс резания, снижает силы резания и соответственно осевую силу, и крутящий момент (рис. 12, а).

Увеличение двойного угла в плане 2φ приводит к росту силы P_x , направленной вдоль оси сверла, и к снижению силы P_z . Соответственно с ростом угла 2φ осевая сила будет возрастать, а крутящий момент – снижаться (рис.12, б).

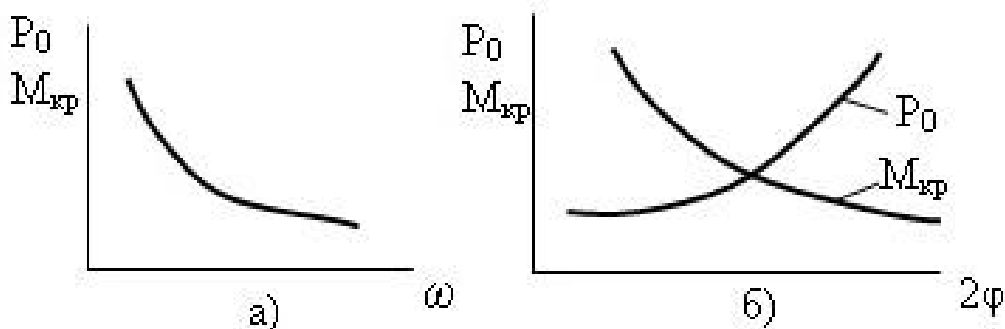


Рис. 12. Влияние угла наклона винтовых канавок (а) и двойного угла в плане при вершине сверла (б) на осевую силу и крутящий момент

При увеличении **длины поперечной кромки** $l_{п}(dc)$ возрастает площадь смятия материала и растет составляющая $P_{п}$ (рис. 10), увеличивается также плечо, на котором действуют силы $P_{z п}$ (рис. 10). Следовательно, с ростом длины поперечной кромки возрастает как осевая сила, так и крутящий момент (рис. 13, а).

Длина поперечной кромки оказывает большее влияние на величину силы P_0 , т.к. доля сил, действующих на поперечной кромке, в общей силе P_0 составляет 57%, а доля крутящего момента от этих сил в общем $M_{кр}$ всего 8%.

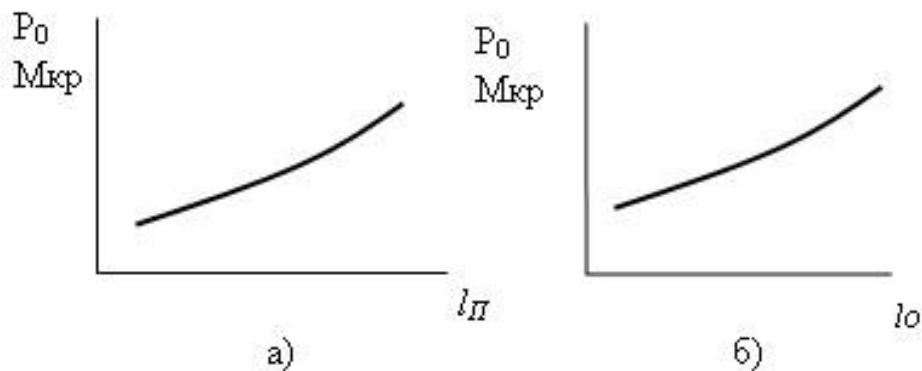


Рис. 13. Влияние длины поперечной кромки (а) и длины отверстия (б) на осевую силу и крутящий момент

При увеличении **длины отверстия** $l_{отв}$ возрастают силы трения (силы $P_{тр}$ и $P_{z тр}$ – рис. 10). Следовательно, с ростом длины отверстия осевая сила и крутящий момент увеличиваются (рис. 13, б). Больше влияние величина $l_{отв}$ оказывает на крутящий момент $M_{кр}$, чем на силу P_0 , т.к. доля момента от сил $P_{z тр}$ составляет в общей величине $M_{р z тр}$ 7 – 12%, а доля сил $P_{тр}$ в осевой силе всего 3%.

Мощность при сверлении складывается из двух составляющих – мощности затрачиваемой на вращение и перемещение сверла:

$$N_{рез} = N_{вр} + N_{под} = \frac{M \times n}{975} + \frac{P_0 \times S_0 \times n}{60 \times 75 \times 1,36 \times 1000}$$

Учитывая, что второе слагаемое существенно меньше первого, окончательно имеем

$$N_{рез} = \frac{M \times n}{975} \text{ (кВт)},$$

где M измеряется в $\text{кг} \times \text{м}$, n – об/мин.

2.5. Допускаемая скорость резания при сверлении и влияние на нее различных факторов

Допускаемая скорость резания при сверлении определяется по формуле

$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v \times D^{x_v}}{T^m \times S^{y_v}} \times K_v,$$

где m – показатель относительной стойкости; C_v , x_v , y_v и K_v коэффициенты и показатели степени по аналогии с эмпирическими зависимостями для токарной обработки, рассмотренными в курсе «Основы теории резания металлов».

С увеличением **диаметра сверла**, несмотря на рост сил резания, повышается теплоотвод из зоны резания в тело инструмента, и допускаемая скорость резания возрастает (рис. 14, а). Рост подачи снижает допускаемую скорость из-за увеличения температуры резания (рис. 14, б).

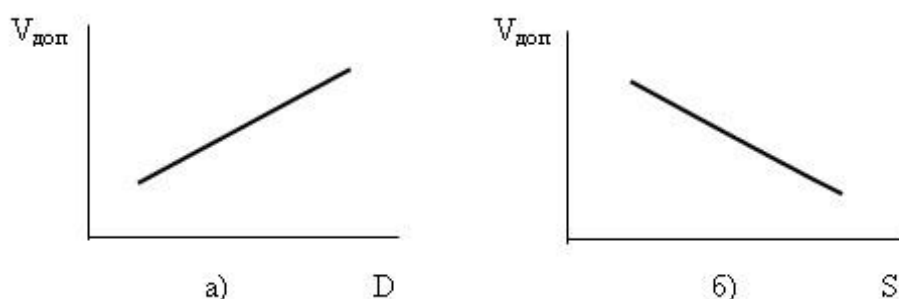


Рис. 14. Влияние диаметра (а) и подачи (б) на допускаемую скорость резания

Повышение **глубины просверливаемого отверстия ($l_{\text{отв}}$)** также снижает допускаемую скорость резания из-за ухудшения тепловой напряженности в зоне резания.

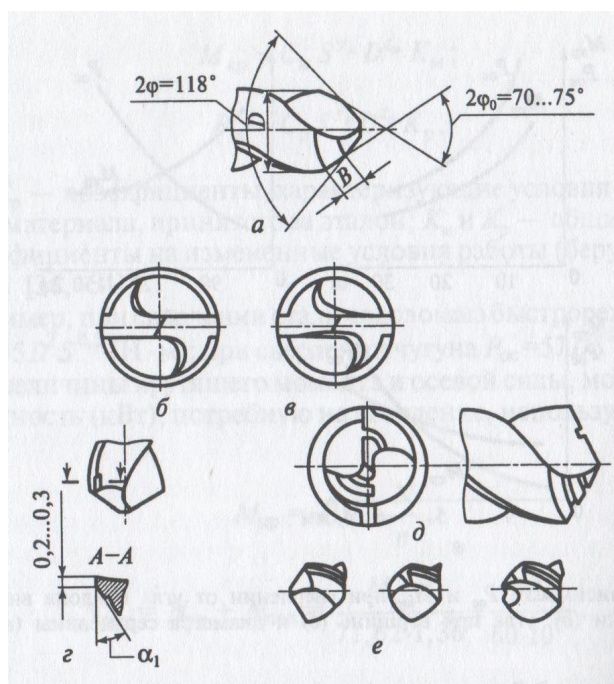


Рис. 15. Формы заточки сверл: а – двойная заточка; б, в – подточка перемычки; г – подточка ленточки; д – стружкоразделительные канавки; е – подточка перемычки и ленточки

Допускаемая скорость резания может быть повышена за счет применения различных форм заточки сверла, вводят стружкоразделительные канавки. Двойная заточка сверла (рис. 15, а) заключается в том, что сверло дополнительно затачивается под двойным углом в плане при вершине $2\varphi_0$, равным $70^\circ - 75^\circ$. Повышение допускаемой скорости резания при двойной заточке обеспечивается за счет увеличения теплоотвода в тело сверла из-за роста длины режущих кромок, снижения тепловой нагрузки на уголок сверла из-за уменьшения толщины срезаемого слоя a_2 на длине режущей кромки, примыкающей к уголку, снижения тепловой напряженности уголка сверла из-за повышения его массивности. Подточка перемычки (рис. 15, б и в) заключается в уменьшении длины поперечной кромки (l_n). Уменьшение длины поперечной кромки ведет к снижению осевой силы и крутящего момента при резании, что позволяет повысить допускаемую скорость резания.

Подточка ленточки заключается в образовании заднего угла на некоторой ее части (рис. 15, г). Такая заточка снижает трение на ленточках сверла и допускаемую скорость $V_{\text{доп}}$ можно увеличить.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности процесса резания при сверлении.
2. Назовите конструктивные элементы сверла.
3. Назовите геометрические параметры сверла и дайте их определения.
4. Объясните изменение переднего и главного заднего углов по диаметру сверла.
5. Перечислите элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя при сверлении.
6. Назовите элементы геометрии срезаемого слоя на поперечной кромке сверла.
7. Перечислите составляющие осевой силы и крутящего момента при сверлении.
8. Напишите формулы для определения осевой силы и крутящего момента при сверлении.
9. Объясните влияние элементов режима резания на осевую силу и крутящий момент при сверлении.
10. Объясните влияние геометрических параметров сверла на осевую силу и крутящий момент при сверлении.
11. Напишите формулу для определения допускаемой скорости резания и объясните влияние на нее различных факторов.

Модуль 3. ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ

3.1. Зенкерование

Зенкерование – процесс обработки резанием предварительно полученного отверстия с целью достижения более высокой точности обработки (по размерам, геометрической форме, взаимному расположению) и меньшей шероховатости поверхности.

Зенкерование может быть окончательным методом обработки или предварительным перед развертыванием.

Точность обработки – 8 – 11 квалитет, шероховатость – до R_a 2,5 мкм.

Развертывание – метод окончательной обработки отверстий с целью получения большей точности обработки и меньшей шероховатости обработанной поверхности по сравнению с зенкерованием.

Точность обработки – 5 – 6 квалитет, шероховатость – R_a 1,25 – 0,32 мкм

Особенности процесса зенкерования

По сравнению со сверлением зенкерование имеет следующие особенности:

1. Больше число режущих зубьев (режущих кромок) – $z = 3 - 4$, обеспечивающее лучшее направление инструмента в отверстии и отсутствие поперечной кромки.
2. Меньшие углы в плане ($45 - 60^\circ$), что обеспечивает резание с более меньшими толщинами срезаемого слоя и при прочих равных условия дает меньшие нагрузки на единицу длины режущей кромки.
3. Меньшие припуски, равные 0,5 – 5 мм на сторону, что уменьшает суммарную величину действующих сил резания.
4. Большая, по сравнению со сверлами, жесткость корпуса инструмента.

3.1.1. Конструктивные элементы и геометрия зенкера

Конструктивные и геометрические параметры зенкера показаны на рис. 16.

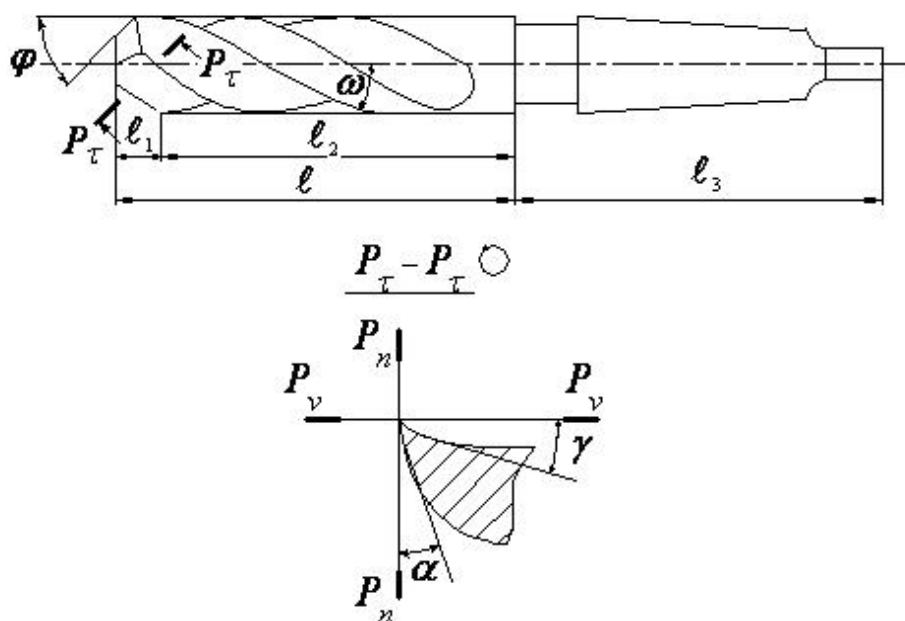


Рис. 16. Конструкция и геометрия зенкера концевое

Зенкер по аналогии со сверлом имеет рабочую часть (l), снабженную стружечными канавками, и включающую в себя режущую (l_1) и направляющую (l_2) части, а также крепежную часть (l_3). Стружечные канавки могут быть прямыми и винтовыми.

К геометрическим параметрам зенкера относятся: φ – главный угол в плане, ω – угол наклона стружечных канавок, γ – передний угол и α – главный задний угол.

3.1.2. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Рассмотрим элементы режима резания при зенкеровании (рис. 17).

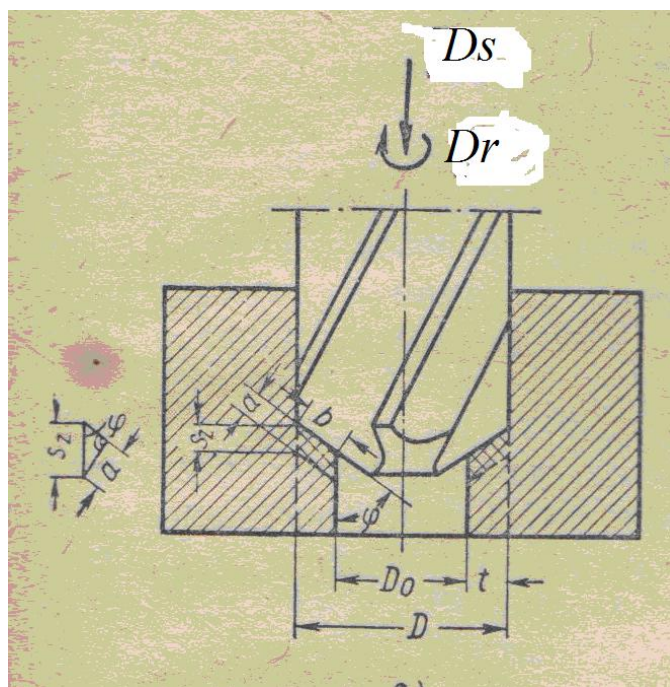


Рис. 17. Элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя при зенкеровании

1. Скорость главного движения $V = \frac{\pi D n}{1000}$ (м/мин).

2. Глубина резания $t = \frac{D - D_0}{2}$ (мм).

3. Подачу рассматривают:

- подачу на зуб S_z (мм/зуб);
- подачу на оборот $S_0 = S_z \times z$ (мм/об);
- скорость движения подачи или минутную подачу $V_s = S_{\min} = S_0 \times n = S_z \times z \times n$ (мм/мин).

4. Основное технологическое время $T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{l + y + \Delta}{S_0 \times n}$ (мин).

Геометрия срезаемого слоя:

1) толщина срезаемого слоя $a = \frac{S_0}{z} \times \sin \varphi$;

- 2) ширина срезаемого слоя $b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{D - D_0}{2 \sin \varphi}$;
- 3) площадь срезаемого слоя $f = a \times b = \frac{S_0(D - D_0)}{2 \times z}$.

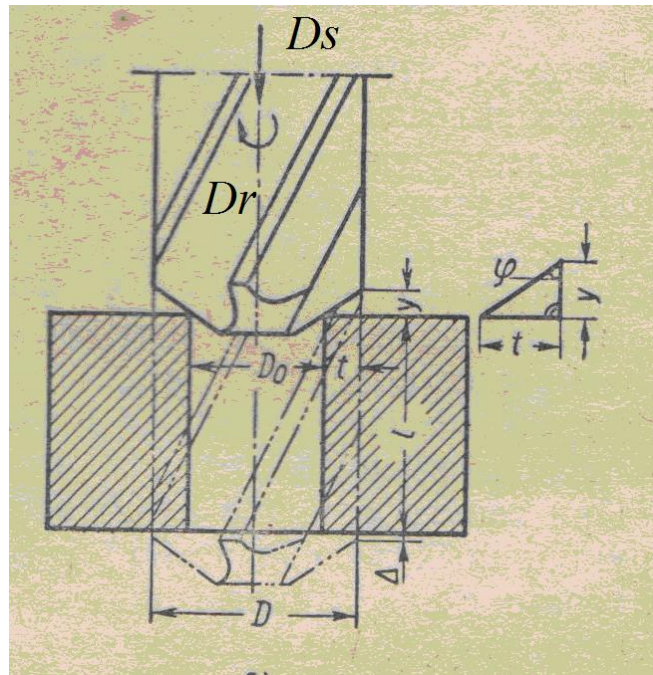


Рис. 18. Величина врезания (y) и перебега (Δ) при зенкеровании

3.2. Развертывание

Отличительными особенностями развертывания по сравнению с зенкерованием являются:

- 1) Больше число режущих зубьев (режущих кромок) (от 6 до 12);
- 2) Меньшие углы в плане φ ($\varphi = 5 - 45^\circ$);
- 3) Меньшие припуски на обработку (0,05 – 0,5 мм).

3.2.1. Конструктивные элементы и геометрия развертки

Развертки состоят из рабочей части l и крепежной l_3 . Рабочая часть состоит из режущей l_1 и направляющей l_2 (рис. 19).

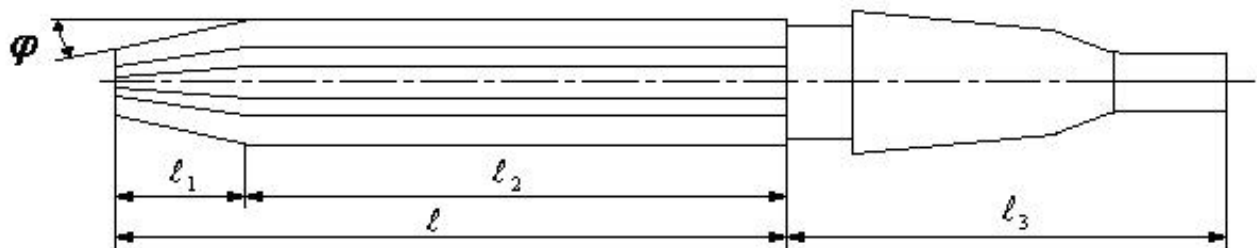


Рис. 19. Конструкция развёртки

К геометрическим параметрам по аналогии с зенкером относятся: главный угол в плане φ , угол наклона стружечных канавок – ω , передний угол γ и главный задний угол α .

Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя показаны на рис. 20. Все определения и формулы для определения элементов режимов резания и геометрии срезаемого слоя при развёртывании аналогичны определениям и формулам, применяемым при зенкеровании.

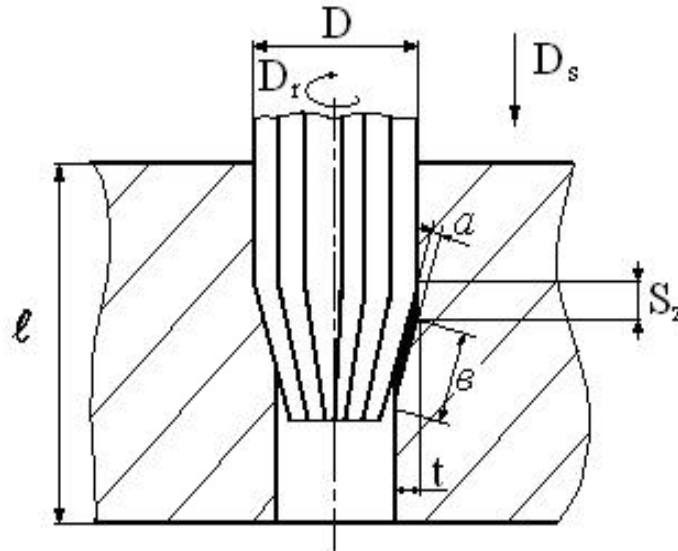


Рис. 20. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя при развёртывании

Силы и крутящий момент при развёртывании обычно не рассчитываются ввиду их малой величины, а при зенкеровании используют эмпирические формулы аналогичные процессу сверления.

Исходя из формул для токарной обработки P_0 и M можно подсчитать по формулам:

$$P_0 = zP_x = \frac{C_{P_x}}{2^{X_{P_x}}} \times (D - D_0)^{X_{P_x}} S_0^{Y_{P_x}} \sin \varphi^{1+Y_{P_x}-X_{P_x}} Z^{1-Y_{P_x}} k_{P_x}.$$

$$M = zP_z \frac{D + D_0}{4} = C_{P_z} \left(\frac{D - D_0}{2} \right)^{X_{P_z}} \left(\frac{D + D_0}{4} \right) S_0^{Y_{P_z}} \sin \varphi^{Y_{P_z}-X_{P_z}} Z^{1-Y_{P_z}} k_{P_z}.$$

Допускаемая скорость резания при зенкеровании и развёртывании подсчитывается по формуле:

$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v \times D^{X_v}}{T^m \times S^{Y_v} \times t^{n_v}} \times K_v.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности процесса резания при зенкеровании и развертывании.
2. Назовите конструктивные элементы зенкера и развертки.
3. Назовите геометрические параметры зенкера и развертки.
4. Перечислите элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя при зенкеровании и развертывании.
5. Нарисуйте схемы для определения элементов режима резания и геометрии срезаемого слоя при зенкеровании и развертывании.

Модуль 4. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

4.1. Виды фрезерования

Фрезерование применяется для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей. Различные типы фрез представлены на рис. 21.

Различают фрезерование:

- 1) цилиндрическое;
- 2) торцовое;
- 3) фасонное.

Фрезерование обеспечивает точность обработки 8 – 11 качества и шероховатость обрабатываемой поверхности R_a до 1,25 мкм.

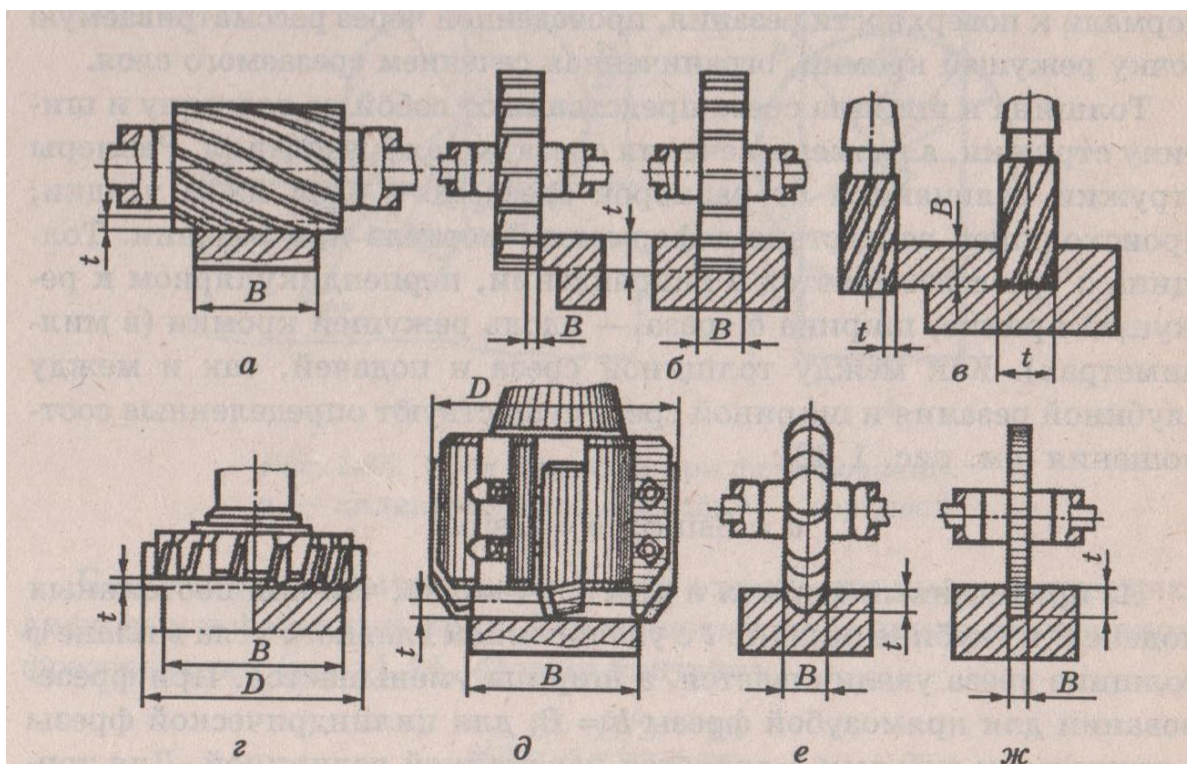


Рис. 21. Различные типы фрез:

а – цилиндрическая; б – дисковые; в – концевая;
г, д – торцовые; е – фасонная; ж – прорезная

4.2. Цилиндрическое фрезерование

Особенностями процесса резания при цилиндрическом фрезеровании являются:

1. За один оборот фрезы зуб находится в контакте с заготовкой очень малое время, большую часть времени он не работает, «отдыхает».
2. В контакт с заготовкой зуб фрезы входит с ударом, что может привести к его разрушению.
3. Переменная толщина срезаемого слоя по дуге контакта фрезы с заготовкой, а для фрезы с винтовым зубом она переменна и по длине зуба.
4. Переменная ширина срезаемого слоя для фрезы с винтовым зубом.
5. Снятие малых толщин среза вызывает интенсивный износ зубьев фрезы по задней поверхности.

4.2.1. Конструктивные элементы и геометрия цилиндрической фрезы

Геометрические параметры и конструкция цилиндрической фрезы представлены на рис. 22. К конструктивным элементам фрезы относятся: длина L и диаметр D фрезы, количество зубьев, форма стружечной канавки.

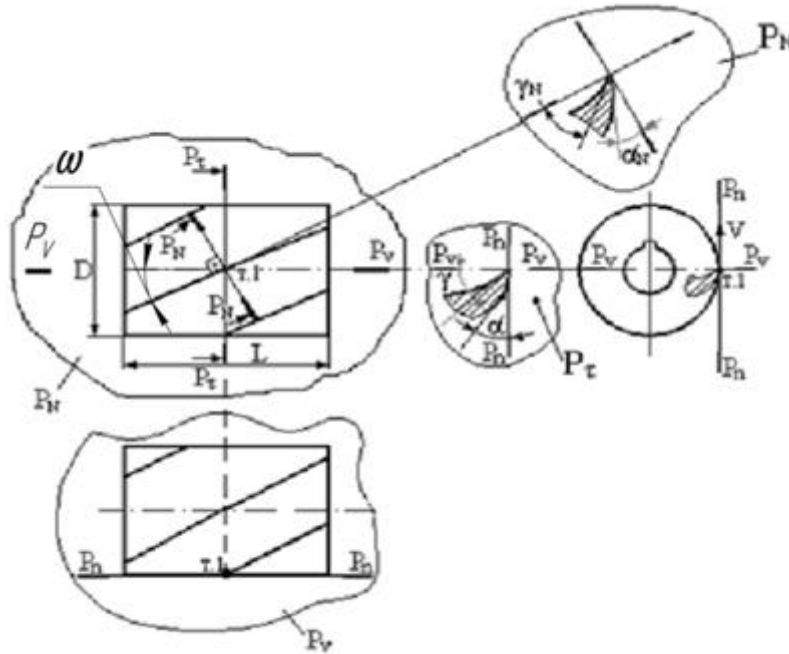


Рис. 22. Конструкция и геометрические параметры цилиндрической фрезы

Геометрические параметры фрезы: угол наклона винтовой канавки ω , передний угол γ , главный задний угол α . Для удобства заточки и контроля переднего угла γ его лучше задавать в плоскости P_N , проходящей перпендикулярно главной режущей кромке фрезы.

γ_N – угол между касательной к передней поверхности и нормалью к плоскости, касательной к цилиндрической поверхности фрезы.

Между передним углом γ , главным задним углом α и углами в плоскости P_N , γ_N и α_N имеется следующие соотношение:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma_N}{\cos \omega}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_N \times \cos \omega.$$

4.2.2. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Главным движением при цилиндрическом фрезеровании D_f является вращение фрезы, движением подачи D_s – перемещение стола с заготовкой.

Элементами режима резания при цилиндрическом фрезеровании являются (рис. 23, а):

1. Скорость главного движения $V = \frac{\pi D n}{1000}$ (м/мин).
2. Глубина резания t (мм).

При входе зуба в заготовку толщина срезаемого слоя равна нулю. При выходе зуба из контакта с заготовкой толщина срезаемого слоя соответствует полному углу контакта δ и имеет максимальное значение a_{\max} :

$$a_{\max} = S_z \times \sin \delta = 2S_z \sqrt{t/D};$$

$$\sin \delta = \sqrt{1 - \cos^2 \delta} = 2\sqrt{t/D}.$$

3. Ширина срезаемого слоя b равна ширине фрезеруемой поверхности B в направлении параллельном оси фрезы, т.е. $b = B$.

4. Площадь срезаемого слоя для одного зуба фрезы

$$f_i = a_i \times b_i = B \times S_z \times \sin \psi_i.$$

Суммарная площадь срезаемого слоя

$$F_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m f_i = B \times S_z \sum_{i=1}^m \sin \psi_i,$$

где m – число одновременно работающих зубьев фрезы.

Величину m можно найти как

$$m = \frac{\delta}{\nu} = \frac{\delta \times z}{360},$$

где ν – шаг между зубьями фрезы.

Рассмотрим геометрию срезаемого слоя для косозубой цилиндрической фрезы ($\omega \neq 0$).

Зуб косозубой фрезы, в отличие от прямозубой, входит в заготовку постепенно, достигает максимального соприкосновения с ней (когда перекрывает всю ее ширину B) и затем постепенно выходит из нее (рис. 24, а). Мгновенное положение зуба в этом случае характеризуется двумя углами: углом входа ψ_1 зуба фрезы в заготовку и, соответственно, углом выхода из нее – ψ_2 . Отсюда следует, что толщина срезаемого слоя на входе зуба в заготовку равна

$$a_1 = S_z \times \sin \psi_1,$$

на выходе зуба из заготовки

$$a_2 = S_z \times \sin \psi_2.$$

Максимальная толщина срезаемого слоя равна

$$a_{\max} = S_z \times \sin \delta.$$

Таким образом, для косозубой фрезы толщина срезаемого слоя является переменной величиной как по дуге контакта фрезы с заготовкой, так и по длине режущей кромке (зуба). Ширина срезаемого слоя (b_i) для косозубой фрезы является величиной переменной величиной по длине зуба.

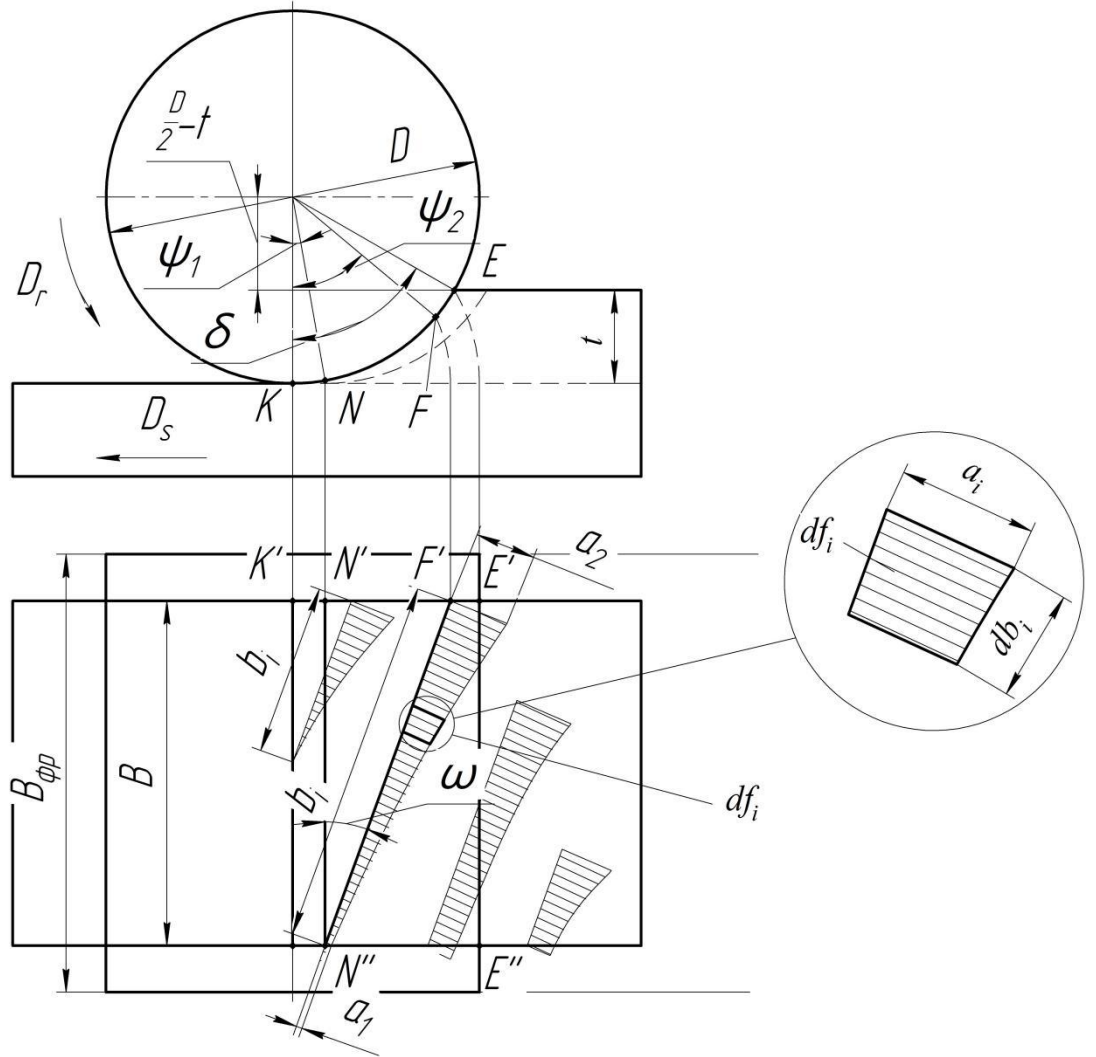


Рис. 24. Геометрия срезаемого слоя (а) и схема к определению площади срезаемого слоя косозубой фрезы одним зубом (б)

Из $\Delta B'C'K$ имеем

$$b_i = \frac{B'C'}{\sin \omega}.$$

Величина отрезка $B'C'$ равна $B'C' = A'C' - A'B'$. Приравнявая длину отрезка $A'C'$ и $A'B'$ длине дуг AC и AB , получим

$$A'C' \approx \overline{AC} = \frac{D}{2} \times \psi_2 \text{ (рад);}$$

$$A'B' \approx \overline{AB} = \frac{D}{2} \times \psi_1 \text{ (рад).}$$

Окончательно имеем

$$b_i = \frac{D \times (\psi_2 - \psi_1)}{2 \sin \omega}.$$

Для определения площади срезаемого слоя f_i для одного зуба фрезы выделим элементарную площадь $df_i = a_i \times d\epsilon_i$ (рис. 24).

Обозначив в формуле для определения ϵ_i разницу углов ($\psi_2 - \psi_1$) через ψ_x , получим

$$b_i = \frac{D\psi_x}{2 \sin \omega},$$

тогда,

$$db_i = \frac{D}{2 \sin \omega} \times d\psi_x.$$

Элементарная площадь будет равна

$$df_i = S_z \sin \psi_x \times \frac{D d\psi_x}{2 \sin \omega} = \frac{S_z D}{2 \sin \omega} \times \sin \psi_x d\psi_x.$$

Проинтегрировав данное выражение в пределах угла входа ψ_1 и угла ψ_2 , получим формулу для определения площади срезаемого слоя для одного зуба фрезы

$$f_i = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \frac{S_z D}{2 \sin \omega} \times \sin \psi_x d\psi_x = \frac{S_z D}{2 \sin \omega} \times (\cos \psi_1 - \cos \psi_2).$$

Для определения суммарной площади срезаемого слоя ($F_{\text{сум}}$) необходимо знать число зубьев, одновременно находящихся в работе (m).

Суммарная площадь равна

$$F_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m f_i = \frac{S_z \cdot D}{2 \cdot \sin \omega} \sum_{i=1}^m (\cos \psi_1 - \cos \psi_2).$$

Для определения количества зубьев фрезы, одновременно участвующих в процессе резания, развернем цилиндрическую поверхность фрезы на площадь ее контакта с заготовкой (рис. 25).

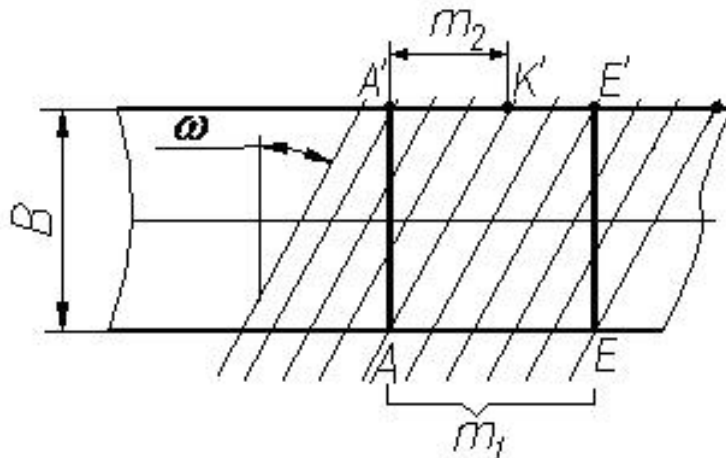


Рис. 25. Схема для определения количества зубьев косозубой фрезы, одновременно находящихся в работе

Тогда можно записать

$$m = m_1 + m_2,$$

где m_1 – число зубьев прямозубой цилиндрической фрезы, которая могла бы заменить данную косозубую

$$m_1 = \frac{\delta \times z}{360}.$$

Число зубьев фрезы m_2 можно найти из $\Delta A'K'A$:

$$m_2 = \frac{A'K'}{h} = \frac{A'K'}{\pi \times D / z} = \frac{B \times z}{\pi \times D \times \text{ctg} \omega},$$

где h – торцовый шаг фрезы.

Отсюда величина m равна

$$m = \frac{\delta \times z}{360} + \frac{B \times z}{\pi \times D \times \text{ctg} \omega}.$$

4.2.3. Равномерное фрезерование

Равномерным называется такое фрезерование, при котором суммарная площадь срезаемого слоя остается постоянной на протяжении всего времени обработки.

Рассмотрим цилиндрическую прямозубую фрезу ($\omega = 0$). Зуб прямозубой фрезы входит в заготовку и выходит из нее сразу по всей ширине. Это приводит к резкому изменению площади поперечного сечения срезаемого слоя, а, следовательно, и сил, действующих в процессе резания.

Представим себе, что в работе находится только один зуб фрезы ($m = 1$, рис. 26). В этом случае суммарная площадь срезаемого слоя будет изменяться от нуля до максимума с последующим резким падением до нуля, когда зуб выходит из заготовки. Такое резкое уменьшение величины $F_{\text{сум}}$ вызывает резкое колебание сил и, следовательно, неравномерную нагрузку на инструмент, станок и заготовку. Это в конечном итоге приведет к ухудшению качества обработанной поверхности, потере работоспособности инструмента. С увеличением числа одновременно работающих зубьев (например, $m = 3$, рис. 26) процесс резания будет происходить более спокойно: не будет резких изменений суммарной площади $F_{\text{сум}}$, сил резания. Однако и при достаточно большом числе зубьев, одновременно находящихся в работе, для прямозубой фрезы невозможно получить равномерного фрезерования.

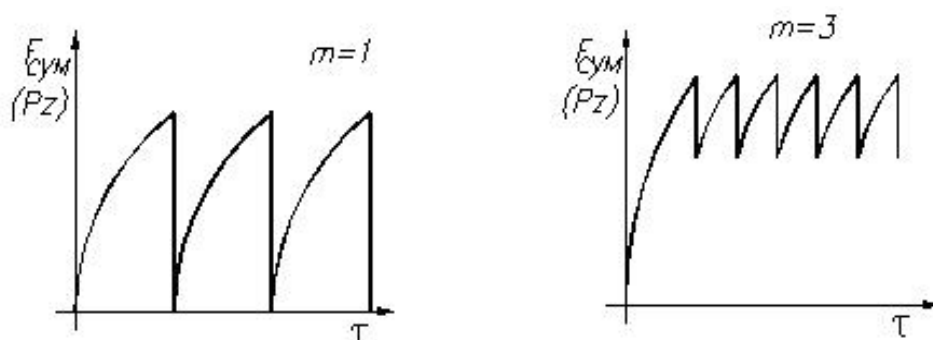


Рис. 26. Влияние числа одновременно работающих зубьев прямозубой фрезы на суммарную площадь срезаемого слоя

Равномерное фрезерование (рис. 27) можно получить только для фрезы с винтовым зубом, у которой зуб постепенно входит в заготовку и постепенно выходит, но при условии, когда ширина фрезеруемой поверхности B равна осевому шагу фрезы h_0 или кратна ему в целых числах

$$B = h_0 \times k,$$

где $k = 1, 2, 3$ и т.д.

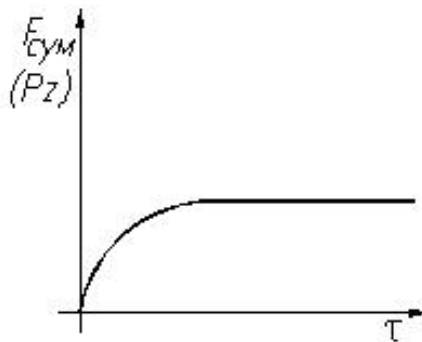


Рис. 27. Изменение суммарной площади срезаемого слоя при равномерном фрезеровании

Определим условие равномерного фрезерования. Для этого развернем цилиндрическую поверхность фрезы на площадь контакта её с заготовкой (рис. 28).

Из ΔAKD имеем

$$h_0 = h \times \operatorname{ctg} \omega.$$

Так как $h = \frac{\pi \times D}{z}$, получим

$$h_0 = \frac{\pi \times D}{z} \times \operatorname{ctg} \omega.$$

Шаг винтовой линии фрезы H равен

$$H = \pi \times D \times \operatorname{ctg} \omega.$$

Тогда,

$$h_0 = \frac{H}{z}.$$

Отсюда следует, что

$$B = \frac{H}{z} \times k.$$

Окончательное условие равномерного фрезерования (целое число):

$$k = \frac{B \times z}{H}.$$

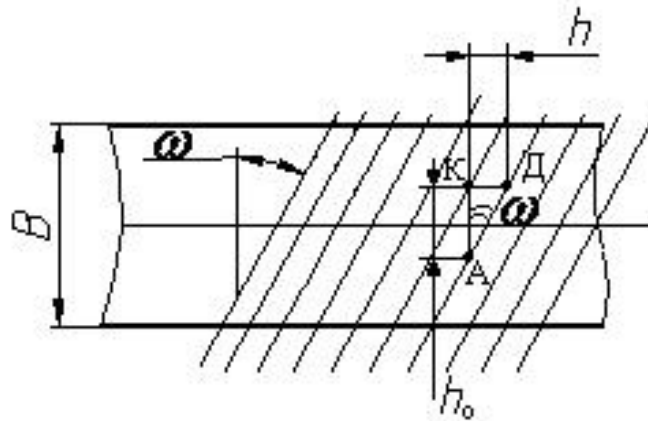


Рис. 28. Развёртка цилиндрической поверхности косозубой фрезы на площадь её контакта с заготовкой

4.2.4. Встречное и попутное фрезерование

Фрезерование называется встречным (против подачи), когда направление главного движения противоположно направлению движения подачи и попутным (по подачи), когда направление главного движения совпадает с направлением движения подачи (рис. 29).

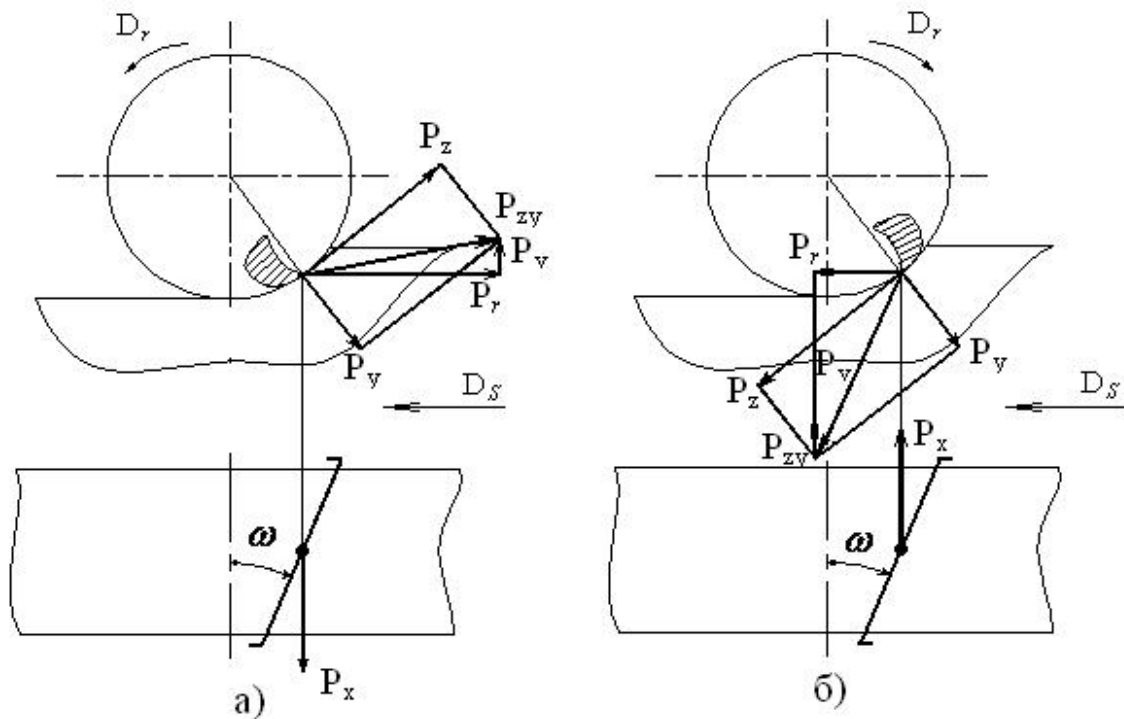


Рис. 29. Силы, действующие на зуб цилиндрической фрезы:
а – встречное фрезерование; б – попутное фрезерование

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб фрезы возрастает постепенно, так как толщина срезаемого слоя a изменяется от нуля до максимального значения. При наличии на заготовке какой-либо корки зуб фрезы работает из под корки, как бы выламывая ее. Все это можно отнести к положительным сторонам встречного фрезерования.

В то же время зуб фрезы старается оторвать заготовку от стола станка, что при большом сечении среза может привести к вибрации и ухудшить шероховатость обработанной поверхности. Кроме того, из-за малой толщины среза a зуб фрезы начинает срезать стружку в т. М, когда радиус округления ρ становится соизмеримым или больше толщины среза a . На участке КМ происходит интенсивный износ зубьев из-за трения задней поверхности зубьев о поверхность резания (рис. 30).

При встречном фрезеровании имеется вероятность затаскивания стружки зубьями фрезы на уже обработанную поверхность, что также может привести к ухудшению шероховатости обработанной поверхности.

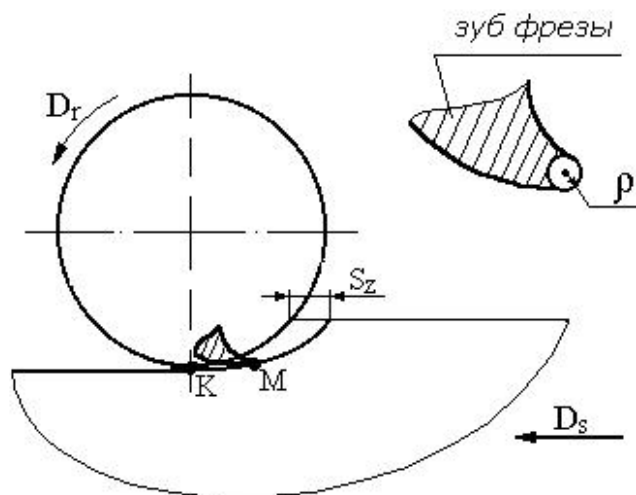


Рис. 30. Схема врезания зуба фрезы в заготовку при встречном фрезеровании

К положительным сторонам попутного фрезерования можно отнести следующее: при отсутствии на заготовке корки обеспечивается меньший износ зубьев и меньшая высота микронеровностей обработанной поверхности; зуб фрезы прижимает заготовку к столу станка; отсутствует вероятность затаскивания стружки зубьями фрезы на уже обработанную поверхность.

В то же время зуб фрезы начинает работать с максимальной нагрузкой, так как толщина срезаемого слоя a изменяется от максимального значения до нуля. При наличии на заготовке корки зуб ударяется об нее, что приведет к резкому снижению работоспособности инструмента. Поэтому, как было отмечено выше, когда заготовка имеет твердую корку, попутное фрезерование не применяется.

4.2.5. Силы, действующие на зуб фрезы, и влияние на нее различных факторов

На зуб цилиндрической фрезы действуют следующие силы (рис. 29):

P_z – касательная составляющая силы резания, которая необходима для расчета механизма главного движения и мощности электродвигателя станка;

P_y – радиальная составляющая силы резания;

P_x – осевая составляющая силы резания.

P_v – вертикальная составляющая силы резания (отрывает или прижимает заготовку к столу станка в зависимости от схемы фрезерования: попутного или встречного);

P_r – горизонтальная составляющая силы резания, по которой производится расчет механизма подачи станка.

Эмпирическая формула для определения силы P_z :

$$P_z = \frac{C_{P_z} t^{X_{P_z}} S_z^{Y_{P_z}} B^{q_{P_z}} z}{D^{U_{P_z}} n^{w_{P_z}}} k_{P_z}.$$

Определения коэффициентов и показателей степени в формуле аналогичны рассмотренным в курсе «Основы теории резания металлов» для эмпирических зависимостей при токарной обработке.

Более точно можно подсчитать силу P_z исходя их формулы для токарной обработки.

Учитывая, что суммарная сила резания равна $P_z = \sum_{i=1}^m P_{zi}$, тогда

$$P_{zi} = C_{P_z} b^{X_{P_z}} a^{Y_{P_z}} k_{P_z}.$$

Окончательно имеем

$$P_z = \frac{2^{y_{P_x}} \times C_{P_x}}{\pi \left(\frac{y_{P_x}}{2} + 1 \right)} \times B^{X_{P_x}} S_z^{Y_{P_x}} \left(\frac{t}{D} \right)^{y_{P_x}/2+0,5} \times z k_{P_z}.$$

Рассмотрим влияние различных факторов на силу резания P_z .

Глубина резания. Увеличение глубины резания повышает полный угол контакта фрезы с заготовкой δ и, следовательно, число зубьев фрезы, одновременно находящихся в процессе резания. Это ведет к росту суммарной площади срезаемого слоя и силы резания P_z (рис. 32). Кроме того с увеличением t растет толщина срезаемого слоя a и его площадь, что также вызывает рост силы P_z .

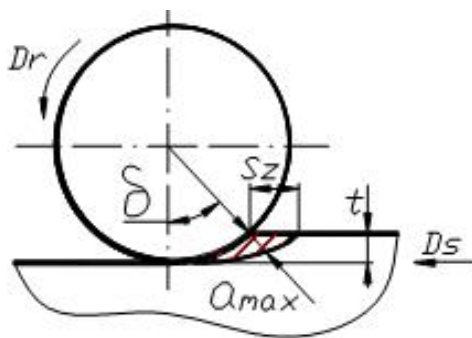


Рис. 31. Схема для объяснения влияния различных факторов на силу при цилиндрическом фрезеровании

Подача на зуб. С увеличением подачи на зуб увеличивается толщина срезаемого слоя a , площадь срезаемого слоя на одном зубе и объем снимаемого материала, что приводит к возрастанию силы резания (рис. 32).

Ширина фрезеруемой поверхности. Для прямозубой фрезы увеличение ширины фрезеруемой поверхности B также вызывает рост силы резания, что связано с повышением площади срезаемого слоя на одном зубе фрезы (рис. 32). В случае косозубой фрезы сила P_z дополнительно увеличивается за счет повышения количества зубьев, одновременно находящихся в процессе резания.

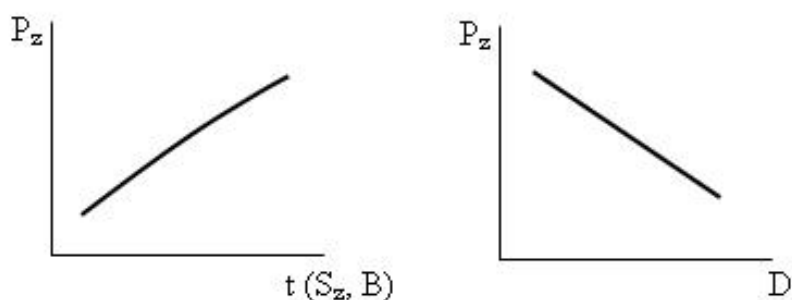


Рис. 32. Влияние глубины резания t подачи на зуб S_z , ширины B фрезеруемой поверхности и диаметра фрезы D на составляющую силы P_z

Диаметр фрезы. Рост диаметра фрезы уменьшает толщину срезаемого слоя, полный угол контакта δ и количество зубьев фрезы, одновременно находящиеся в работе. Это ведет к уменьшению площади срезаемого слоя одним зубом фрезы и суммарной площади срезаемого слоя и как следствие к снижению силы резания (рис. 32).

Мощность резания при фрезеровании подсчитывается по формуле

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z \times v}{60 \times 1020} \text{ (кВт)}.$$

4.2.6. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами, и влияние на нее различных факторов

Формула для расчета допускаемой скорости резания имеет вид:

$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v \times D^q \times \omega^p}{T^m \times S_z^y \times t^x \times B^n \times z^n} \times K_v,$$

где коэффициенты и показатели степени имеют назначение по аналогии с рассмотренными ранее эмпирическими зависимостями для определения допускаемой скорости при токарной обработке.

Влияние различных факторов на допускаемую скорость резания показано на рис. 33. Рост допускаемой скорости резания при фрезеровании вызывает увеличение диаметра фрезы.

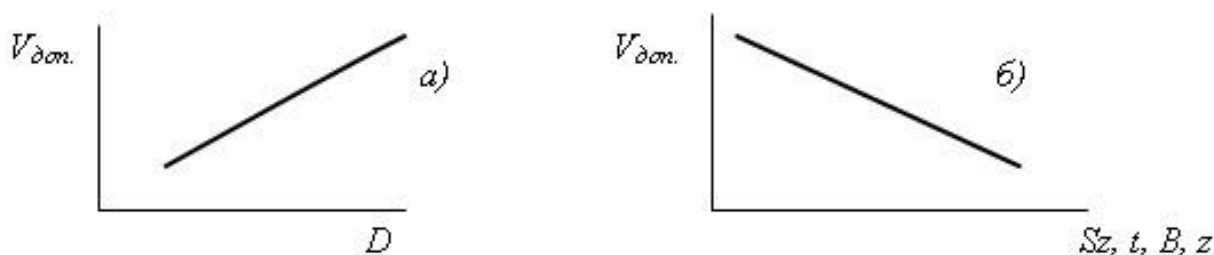


Рис. 33. Влияние различных факторов на допускаемую скорость резания при фрезеровании

Увеличение подачи на зуб S_z , глубины резания t , ширины фрезерования B и количества зубьев фрезы z вызывает повышение температуры резания и допускаемая скорость резания будет снижаться.

Увеличение диаметра фрезы при прочих равных условиях снижает толщину срезаемого слоя и количество зубьев, принимающих участие в резании. Все это ведет к снижению силы резания и, следовательно, теплоты, образующейся при резании. Кроме того, рост диаметра фрезы приводит к увеличению ее массы, что способствует увеличению теплоотвода из зоны резания в тело фрезы. Все это вместе взятое позволяет повысить допустимую скорость резания при увеличении диаметра фрезы.

4.3. Торцовое фрезерование

При торцовом фрезеровании ось фрезы располагается перпендикулярно к обрабатываемой поверхности (рис. 34, а).

Рассматривают торцовое фрезерование симметричное и несимметричное, полное и неполное.

При симметричном фрезеровании ось фрезы расположена симметрично ширине фрезеруемой поверхности (рис. 34, б). В противном случае фрезерование будет несимметричным.

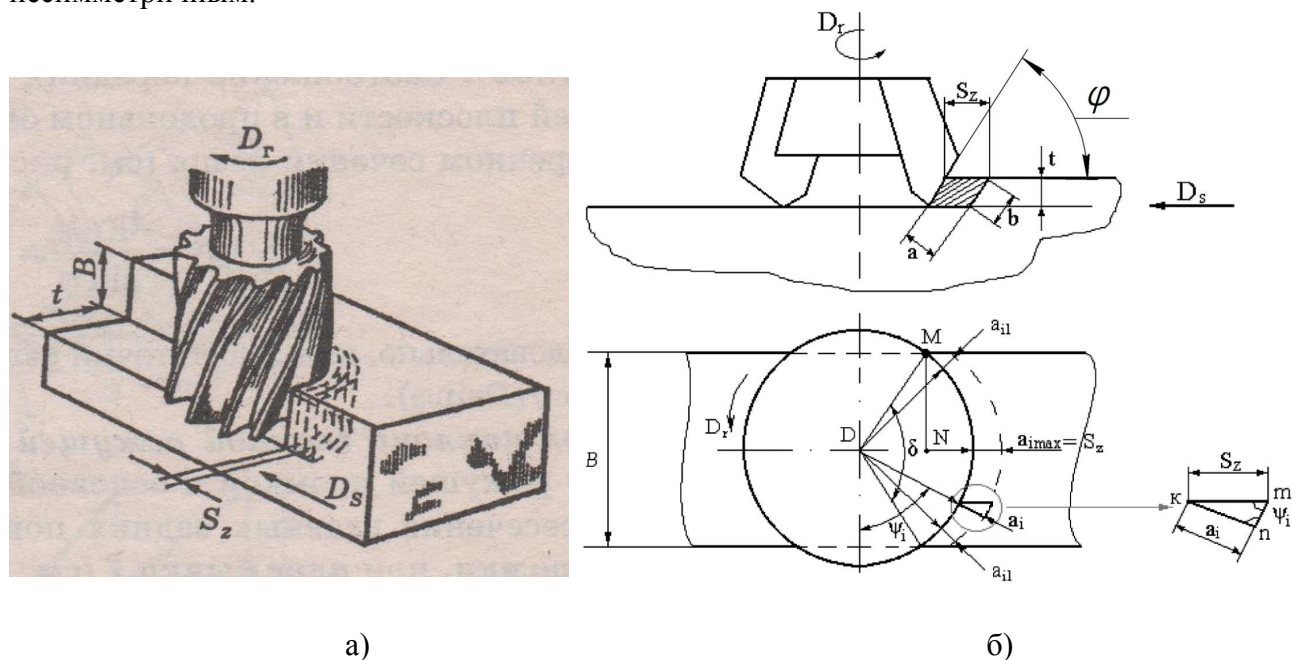


Рис. 34. Основные движения при торцовом фрезеровании (а) и схема к определению геометрии срезаемого слоя при торцовом фрезеровании (симметричное полное фрезерование)

Торцовое фрезерование называется полным, когда ширина фрезеруемой поверхности B равна диаметру фрезы D . Полный угол контакта (по аналогии с цилиндрическим фрезерованием) δ равен в этом случае 180° . При неполном симметричном фрезеровании полный угол контакта δ определяется из $\triangle OMN$:

$$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{MN}{OM} = \frac{B/2}{D/2} = \frac{B}{D}.$$

Основные движения и элементы режима резания при торцовом фрезеровании аналогичны цилиндрическому фрезерованию. Рассмотрим геометрию срезаемого слоя при торцовом симметричном фрезеровании (рис. 34, б).

Толщина срезаемого слоя a – величина переменная вдоль всей длины дуги контакта фрезы с заготовкой.

Из Δkmn (рис. 34) имеем

$$a_i = S_z \times \sin \psi_i,$$

где ψ_i – мгновенный угол контакта.

При симметричном полном фрезеровании данная величина a_i на входе зуба в заготовку и на выходе из нее будет одинаковой и равной a_{i1} . При несимметричном фрезеровании (рис. 35) толщина срезаемого слоя будет изменяться от $a_i = 0$ до $a_i = a_{\max}$ (при попутном фрезеровании величина a_i будет изменяться от a_{\max} до нуля, при встречном – от нуля до a_{\max}).

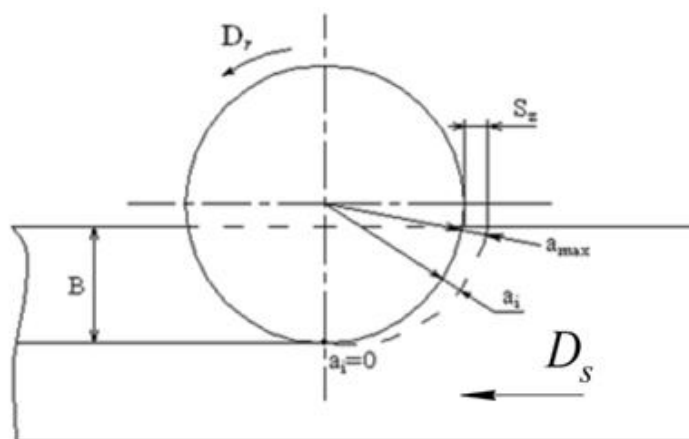


Рис. 35. Схема торцевого несимметричного неполного фрезерования (вид сверху)

Толщина срезаемого слоя вдоль зуба торцевой фрезы является величиной постоянной и равна

$$a_i = S_z \times \sin \varphi.$$

С учетом этого толщина срезаемого слоя будет равна

$$a_i = S_z \times \sin \varphi \times \sin \psi_i.$$

Ширина срезаемого слоя равна:

$$e = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

4.3.1. Силы, действующие на зуб фрезы

Силы, действующие на зуб торцевой фрезы, представлены на рис. 36.

Сила резания при торцевом фрезеровании подсчитывается по рассмотренной выше эмпирической зависимости для цилиндрического фрезерования.

Подсчитаем силу P_z исходя из формул для токарной обработки. При симметричном полном фрезеровании сила P_z может быть определена по следующей зависимости:

$$P_z = \frac{C \times B \times z}{\pi D} \times t_{Pz}^X \times S_{Pz}^Y \times (\sin \varphi)_{Pz}^{Y-X} \times (\sin \psi_{cp})_{Pz}^Y \times k_{Pz}$$

где $(\sin \psi_{cp})_{Pz}^Y \approx 0,9$.

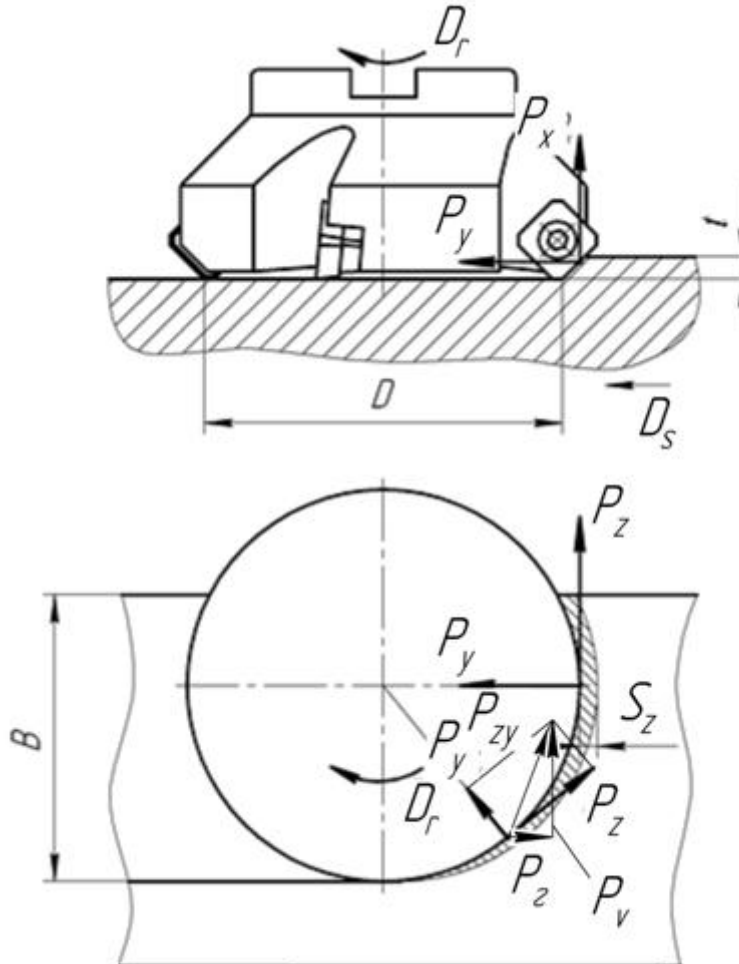


Рис. 36. Силы, действующие на зуб торцевой фрезы

При несимметричном торцовом фрезеровании (рис. 37) силу можно подсчитать путем разделения его на различные виды фрезерования.

Например, сила резания при несимметричном фрезеровании $P_{z \text{ н.ф.}}$ равна сумме сил торцового симметричного фрезерования $P_{z \text{ т.с.}}$ и цилиндрического фрезерования $P_{z \text{ ц.}}$, т.е. $P_{z \text{ н.ф.}} = P_{z \text{ т.с.}} + P_{z \text{ ц.}}$.

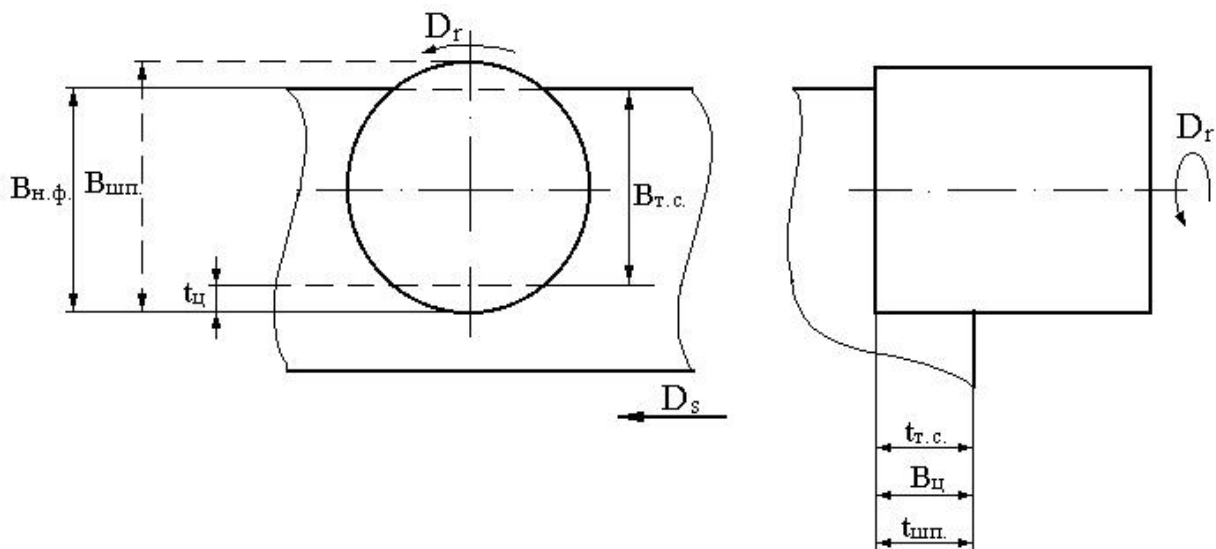


Рис. 37. Схема к определению силы резания при несимметричном торцовом фрезеровании

Эту же силу $P_{z \text{ н.ф.}}$ можно подсчитать как разницу сил $P_{z \text{ ш.п.}}$ при шпоночном фрезеровании и $P_{z \text{ ц}}$ при цилиндрическом, т.е. $P_{z \text{ н.ф.}} = P_{z \text{ ш.п.}} - P_{z \text{ ц}}$. Сила резания для шпоночного фрезерования, исходя из формул для токарной обработке, равна:

$$P_z = \frac{C_{P_z}}{2} \cdot z \cdot t_{P_z}^X \cdot S_{P_z}^Y \cdot (\sin \varphi)^{Y_{P_z} - X_{P_z}} \cdot (\sin \psi_{cp})^{Y_{P_z}} \cdot k_{P_z}$$

где $(\sin \psi_{cp})^{Y_{P_z}} \approx 0,75$.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности процесса резания при цилиндрическом фрезеровании.
2. Назовите конструктивные элементы и геометрические параметры цилиндрической фрезы.
3. Перечислите элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя при цилиндрическом фрезеровании.
4. Дайте определение толщины срезаемого слоя при цилиндрическом фрезеровании.
5. Объясните влияние угла наклона винтовой линии цилиндрической фрезы на толщину и ширину срезаемого слоя.
6. Напишите выражения для определения количества зубьев, одновременно участвующих в процессе резания, для прямозубой и косозубой цилиндрической фрезы.
7. Какое фрезерование называется равномерным.
8. Напишите и расшифруйте условие равномерного фрезерования.
9. Дайте определение и перечислите особенности встречного и попутного фрезерования.
10. Перечислите составляющие силы резания при фрезеровании и дайте их характеристику.
11. Объясните влияние различных факторов на силы резания при цилиндрическом фрезеровании.
12. Объясните влияние различных факторов на скорость резания, допускаемую режущими свойствами, при цилиндрическом фрезеровании.

Модуль 5. ПРОТЯГИВАНИЕ

5.1. Особенности процесса протягивания

Протягивание является высокопроизводительным и точным методом обработки резанием, обеспечивающим малую высоту микронеровностей обработанной поверхности (низкую шероховатость) и предназначено для окончательной обработки отверстий различной формы, плоских, фасонных наружных поверхностей, уступов и пазов. Получаемая точность обработки – 6 – 8 квалитет, шероховатость обработанной поверхности – до $R_a 0,2$.

1. Срезание заданного припуска в виде слоев металла малой толщины и большой ширины (малые толщины среза a).

2. Малые скорости резания главного движения 8 – 15 м/мин.

3. Отсутствие движения подачи как самостоятельного кинематического движения станка. Подача, определяющая толщину срезаемого слоя режущей кромкой каждого зуба, устанавливается путем превышения каждого последующего зуба над предыдущим.

4. Возможность осуществления за один проход инструмента комбинированной обработки (черновой, чистовой).

Высокая производительность процесса протягивания объясняется большой длиной режущих кромок, одновременно участвующих в резании (за счет большого количества зубьев), и возможностью за один проход осуществлять комбинированную обработку.

5.2. Схемы резания при протягивании

Схема резания определяет порядок срезания заданного припуска на обработку в поперечном сечении. Принятая схема резания определяет конструкцию протяжки, форму и размеры ее рабочих зубьев.

Различают две основные схемы резания при протягивании: одинарную и групповую. При одинарной схеме резания подача задается на каждый зуб протяжки, при групповой – на группу зубьев (рис. 38).

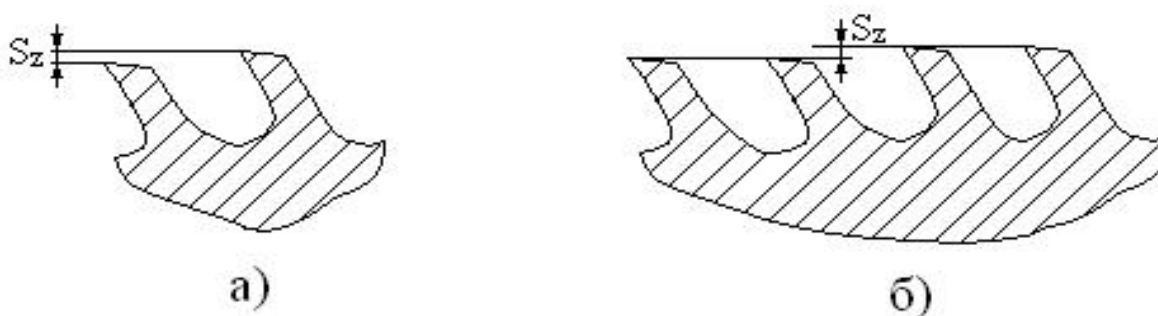


Рис. 38. Одинарная (а) и групповая (б) схема резания

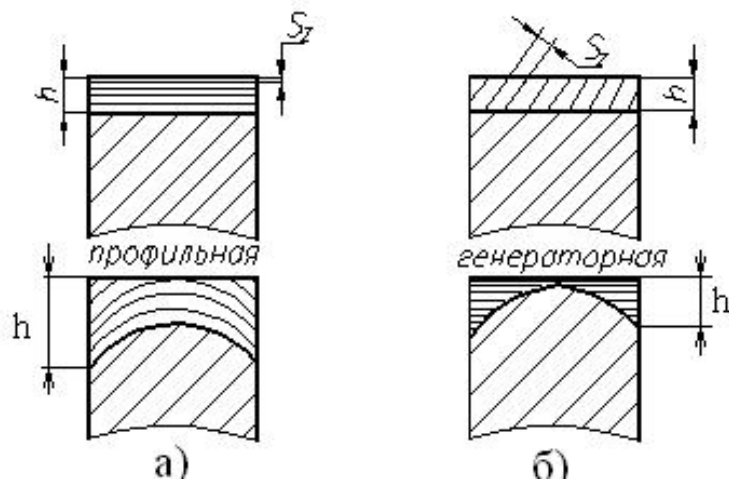


Рис. 39. Схема срезания припуска:
а) профильная; б) генераторная

Одиарная схема резания в свою очередь подразделяется на профильную и генераторную. При профильной схеме резания припуск h снимается слоями параллельными профилю обработанной поверхности детали (рис. 39, а); при генераторной схеме – относительно узкими слоями, расположенными перпендикулярно или наклонно к профилю обработанной поверхности детали (рис. 39, б).

Работа в группе между зубьями при групповой схеме резания распределяется за счет деления между ними ширины срезаемого слоя. На рис. 40 показана схема срезания припуска группой, состоящей из двух зубьев. Зубья в группе для наглядности показаны рядом друг с другом – для реальной плоской протяжки они расположены в разных секциях.

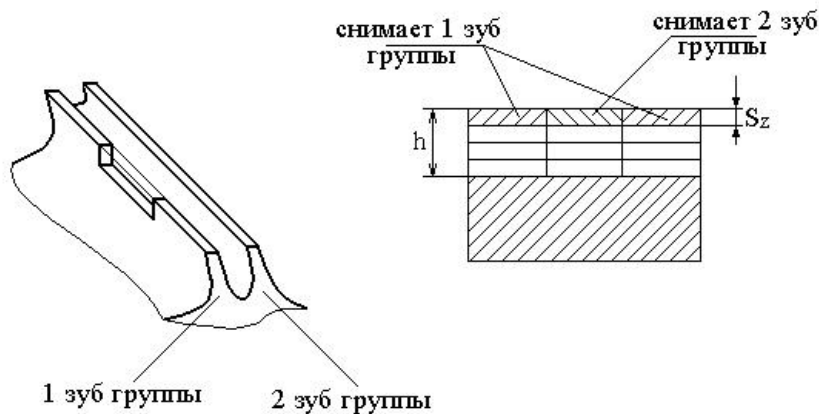


Рис. 40. Схема срезания припуска при групповой схеме резания

5.3. Конструкция и геометрия круглой протяжки

Рассмотрим конструкцию и геометрию круглой протяжки (рис. 41).

Конструктивные параметры протяжки: 1, 2 – хвостовик и шейка – служат для закрепления протяжки в патроне; 3 – переходной конус; 4 – передняя направляющая – служит для направления протяжки в начале ее работы; 5 – режущая часть (включает в себя черновые и чистовые зубья) – выполняет работу по снятию припуска; 6 – калибрующая часть – служит для калибрования отверстия по размеру и обеспечивает необходимую

шероховатость поверхности; 7 – задняя направляющая – служит для удержания протяжки от провисания.

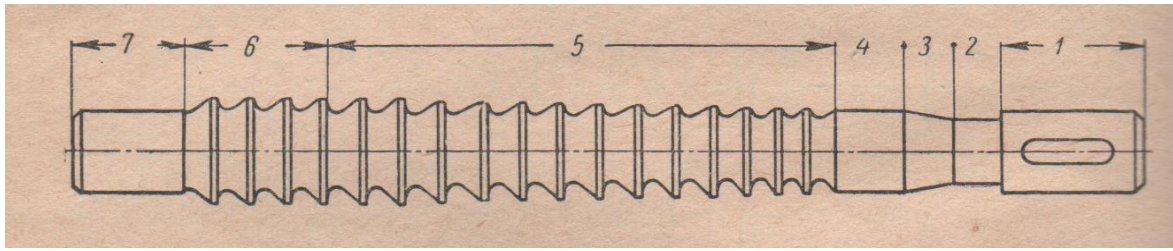


Рис. 41. Конструкция круглой протяжки

К геометрическим параметрам круглой протяжки относятся передний угол γ и главный угол α . На рис. 42 показаны углы протяжки в главной секущей плоскости.

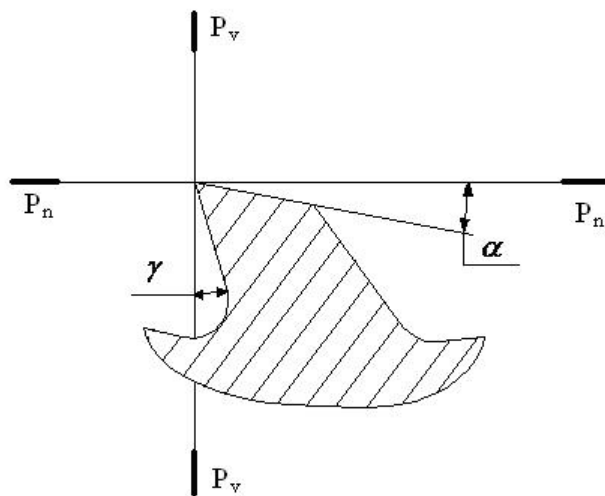


Рис. 42. Геометрические параметры протяжки

5.4. Элементы режима резания и геометрия срезаемого слоя

Рассмотрим элементы режима резания на примере круглой протяжки.

Главным движением D_r при протягивании является поступательное движение протяжки (рис. 43).

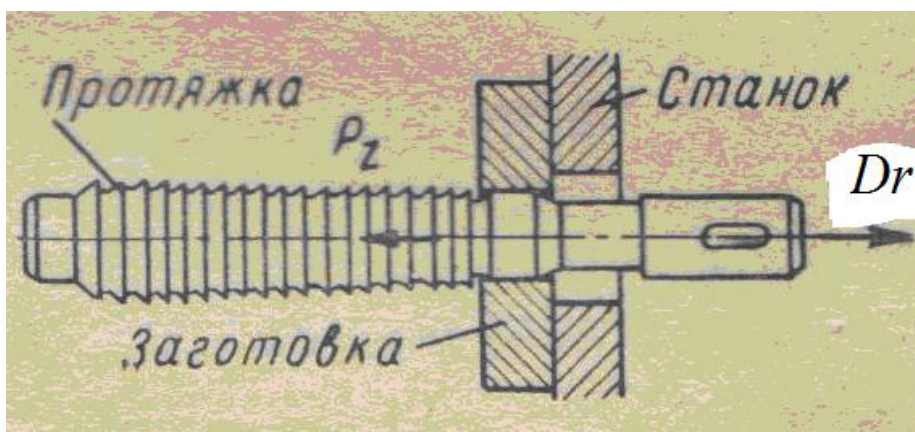


Рис. 43. Схема работы протяжки

1. Скорость главного движения $V = 8 - 15$ (м/мин).
2. Рассматривается подача на зуб S_z (мм/зуб) как разность между высотами двух соседних зубьев или двух групп зубьев (рис. 44).

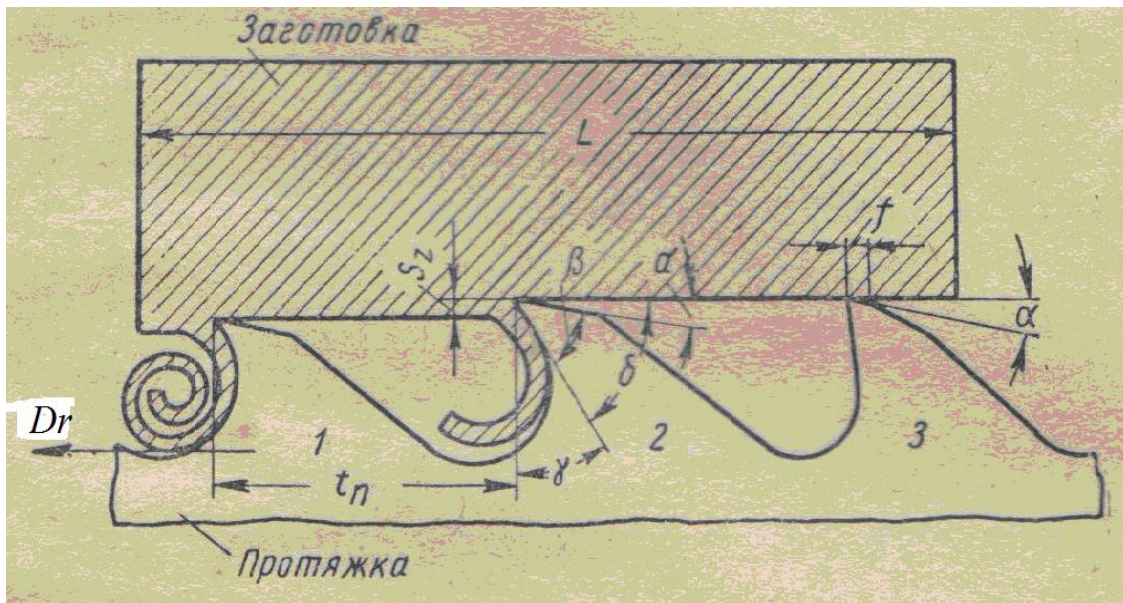


Рис. 44. Схема резания стружки при протягивании:
1, 2 – режущие зубья; 3 – калибрующий зуб

3. Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{L}{1000V} \times k \text{ (мин)},$$

где L – длина хода протяжки (мм); k – коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки (1,14 – 1,5).

Рассмотрим геометрию срезаемого слоя для круглой протяжки (рис. 45):

- 1) толщина срезаемого слоя: $a = S_z$;
- 2) ширина срезаемого слоя: $b = \pi D$;
- 3) площадь срезаемого слоя для одного зуба: $f_i = a \times b = S_z \times \pi D$;
- 4) суммарная площадь срезаемого слоя: $F_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m f_i$,

где m_{max} – максимальное количество одновременно работающих зубьев.

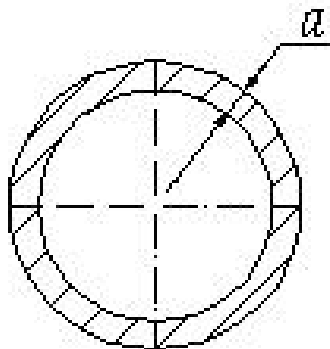


Рис. 45. Форма сечения срезаемого слоя одним зубом круглой протяжки

Величину m_{\max} можно найти из рис. 46:

$$m_{\max} = \frac{l}{t} + 1,$$

где l – длина отверстия, t – шаг зубьев протяжки.

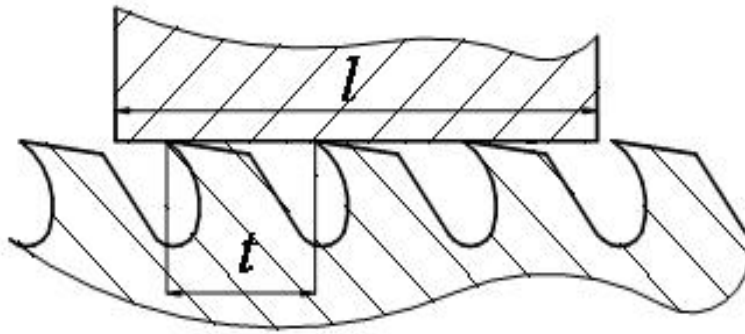


Рис. 46. Схема для определения максимального количества зубьев, одновременно находящихся в работе

Силы резания при протягивании (в данном случае для круглой протяжки) можно подсчитать исходя из формул для токарной обработки:

$$P_z = \sum_{i=1}^m P_{z_i} = \sum_{i=1}^m C_{P_z} b^{x_{P_z}} a^{y_{P_z}} k_{P_z} = C_{P_z} b^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} m_{\max} k_{P_z} = C_{P_z} (\pi D)^{x_{P_z}} S_z^{y_{P_z}} m_{\max} k_{P_z}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите особенности процесса резания при протягивании.
2. Назовите схемы резания при протягивании и дайте их характеристику.
3. Назовите конструктивные элементы круглой протяжки и ее геометрические параметры.
4. Перечислите элементы режима резания и геометрии срезаемого слоя для круглой протяжки.

Модуль 6. РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

6.1. Методы получения резьбы

Различают три метода получения резьбы:

- 1) нарезание резьбы лезвийным инструментом (резцы, метчики, плашки, фрезы и др.);
- 2) шлифование резьбы одноконтурными или многоконтурными шлифовальными кругами;
- 3) накатывание резьбы.

Основной особенностью процесса нарезания резьбы лезвийным инструментом является снятие тонких стружек (малая толщина срезаемого слоя). При этом эти тонкие слои металла снимаются не только прямолинейной режущей кромкой, но и режущей кромкой в виде треугольника или трапеции.

6.2. Нарезание резьбы резцами

Резцами нарезается наружная и внутренняя резьба. Для нарезания резьбы применяются стержневые (токарные), призматические и круглые резцы.

Геометрические параметры резьбового резца аналогичны токарному проходному резцу (рис. 47). Отличительными особенностями его являются: наличие двух главных режущих кромок, различные значения главных задних углов для левой и правой режущих кромок. На левой режущей кромке он больше, чем на правой из-за различных значений кинематических углов. Для чистовых проходов с целью исключения искажения профиля резьбы после переточки резца передний угол γ делают равным нулю.

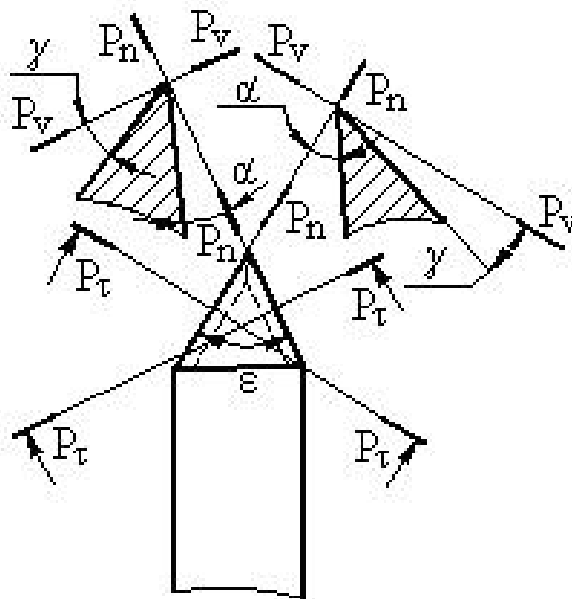


Рис. 47. Геометрические параметры стержневого резьбового резца

Резьбовыми резцами резьбу нарезают обычно в несколько проходов. При этом формирование профиля резьбы может осуществляться по двум схемам: профильной с подачей S_t , в направлении перпендикулярном оси заготовки (рис. 48, а), или генераторной с подачей S_t , направленной вдоль стороны профиля резьбы (рис. 48, б). Иногда применяют комбинированную подачу.

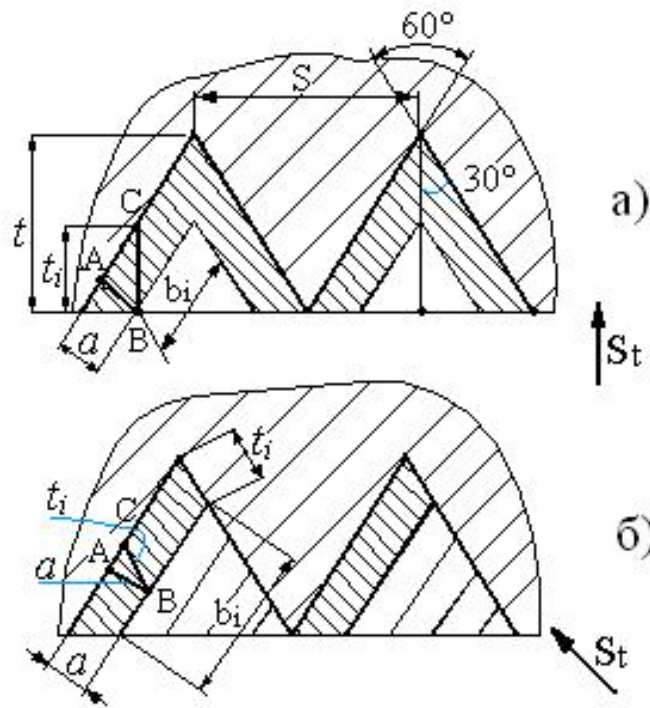


Рис. 48. Схема формирования профиля резьбы:
а – профильная; б – генераторная

Рассмотрим элементы режима резания и геометрию срезаемого слоя при нарезании резьбы резцами:

1. Скорость главного движения определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ (м/мин)}.$$

2. Глубина резания t равна высоте профиля нарезаемой резьбы.

3. Подача на оборот S_0 равна шагу S нарезаемой резьбы (мм/об). Скорость движения подачи, минутная подача

$$V_s = S \times n \text{ (м/мин)}.$$

4. Основное технологическое время

$$T_0 = \left(\frac{L}{V_s} + \frac{L}{V_{\text{сопр.ход}}} \right) i = \left(\frac{L}{nS} + \frac{L}{n_0 S} \right) i,$$

где i – количество проходов резца, $n_{\text{ох}}$ – частота вращения при обратном ходе резца.

Рассмотрим геометрию срезаемого слоя для профильной и генераторной схем резания (рис. 48).

Профильная схема резания (рис. 48, а). Толщину срезаемого слоя a можно определить из ΔABC :

$$a_i = t_i \times \sin 30^\circ,$$

где t_i – глубина резания для i -го прохода резца.

Величина $t_i = \frac{t}{i}$, тогда $a_i = \frac{t}{i} \sin 30^\circ$. Учитывая, что $t = \frac{S}{2 \times \operatorname{tg} 30^\circ}$, окончательно имеем

$$a_i = \frac{S \times \sin 30^\circ}{2 \times i \times \operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{S \times \cos 30^\circ}{2 \times i}.$$

Ширина срезаемого слоя при профильной схеме резания величина переменная и изменяется от нуля до $2S$, т.е. $b_i = (0 - 2S)$.

Генераторная схема резания (рис. 48, б). *Толщина срезаемого слоя a* определяется из ΔABC :

$$a_i = t_i \times \cos 30^\circ = \frac{S}{i} \times \cos 30^\circ.$$

Ширина срезаемого слоя также величина переменная и изменяется от нуля до S , т.е.

$$b_i = (0 - S).$$

Силы резания при нарезании резьбы резцами можно подсчитать исходя из формул для токарной обработки. При профильной схеме резания:

$$P = C_{P_z} b^{x_{P_z}} a^{y_{P_z}} k_{P_z} = C_{P_z} (2S)^{x_{P_z}} \left(\frac{S \cos 30^\circ}{2i} \right)^{y_{P_z}} k_{P_z} = 2^{x_{P_z} - y_{P_z}} C_{P_z} S^{x_{P_z} + y_{P_z}} \left(\frac{\cos 30^\circ}{i} \right)^{y_{P_z}} k_{P_z}$$

При генераторной схеме резания:

$$P = C_{P_z} S^{x_{P_z}} \left(\frac{S}{i} \cos 30^\circ \right)^{y_{P_z}} k_{P_z} = C_{P_z} S^{x_{P_z} + y_{P_z}} \left(\frac{\cos 30^\circ}{i} \right)^{y_{P_z}} k_{P_z}.$$

Мощность резания определяется по аналогии с токарной обработкой:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z V}{60 \times 1020}, \text{ кВт.}$$

6.3. Нарезание резьбы метчиками

Метчики применяют для нарезания внутренней резьбы. Различают метчики: ручные, машинные, гаечные.

К конструктивным элементам метчика относятся: режущая часть (l_1) (заборный конус), калибрующая часть (l_2), крепежная часть, количество стружечных канавок, их профиль и направление (рис. 49).

Режущая часть выполняет основную работу по формированию профиля нарезаемой резьбы. Для распределения работы между зубьями режущая часть оформляется в виде конуса с углом наклона φ . Калибрующая часть служит для калибрования (зачистки резьбы) и направления метчика в резьбовом отверстии.

Окончательное формирование резьбы заканчивается после прохода первого калибрующего витка, имеющего полную высоту профиля резьбы.

Следующие витки не участвуют в калибровании резьбы, а служат для направления метчика в резьбовом отверстии и обеспечения перемещения его по подаче, т.е. обеспечивают самозатягивание. По мере переточки метчика роль калибрования переносится на следующий виток и так повторяется после каждой переточки, т.е. калибрующая часть может рассматриваться как резерв для переточки метчика. Калибрующая часть метчика для уменьшения трения делается с обратным конусом (уменьшается наружный и средний диаметр метчика).

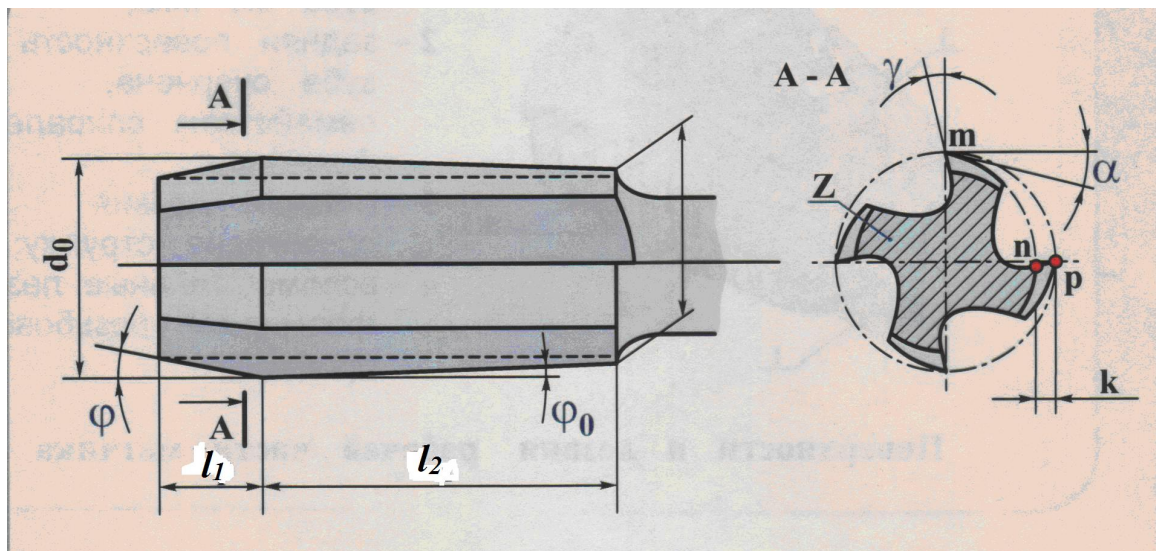


Рис. 49. Конструктивные элементы метчика

Стружечные канавки обычно делают прямыми, т.е. параллельно оси метчика, но иногда винтовыми. Направление канавок определяет направление схода стружки (рис. 50). Левое направление (рис. 50, а) применяется для сквозных отверстий, правое – для глухих (рис. 50, б).

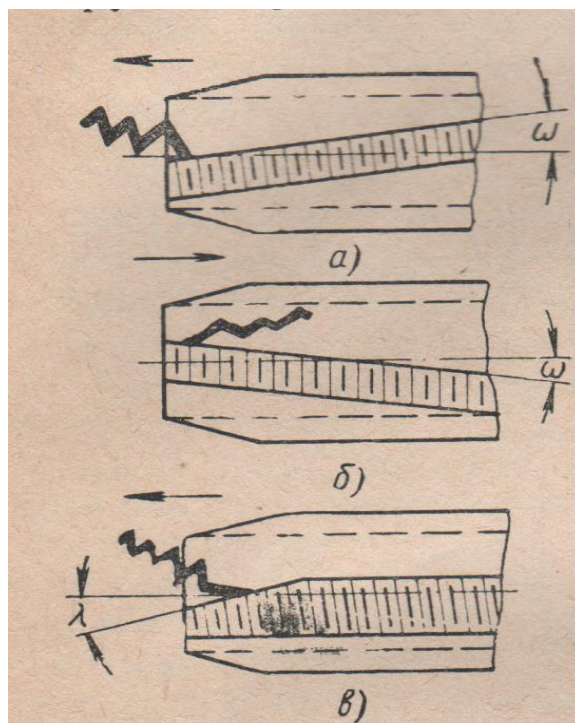


Рис. 50. Влияние угла наклона стружечных канавок на направление схода стружки

К геометрическим параметрам метчика относятся: передний угол γ , главный задний угол α , угол заборного конуса φ и угол наклона винтовой (стружечной) канавки ω .

Передний угол и главный задний угол измеряются в плоскости перпендикулярной оси метчика.

Элементы режима резания при нарезании резьбы метчиками:

1. Скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин.}$$

2. Глубина резания t равна высоте профиля нарезаемой резьбы.

3. Подача на оборот S_0 равна шагу нарезаемой резьбы (S).

Скорость движения подачи, минутная подача $V_s = S_{\text{мин}} = S \times n$, мм/мин.

Основное технологическое время:

$$T_0 = \left(\frac{L}{nS} + \frac{L}{n_{\text{ок}}S} \right) i;$$

где $n_{\text{ок}}$ – частота вращения при обратном ходе метчика, i – число метчиков в комплекте, L – длина резания

$$L = l + y + \Delta; y = l_i; \Delta = (2 - 3) \times S,$$

где l – длина резьбового отверстия.

Геометрия срезаемого слоя при нарезании резьбы метчиками для случая $l_1 < l$ представлена на рис. 51.

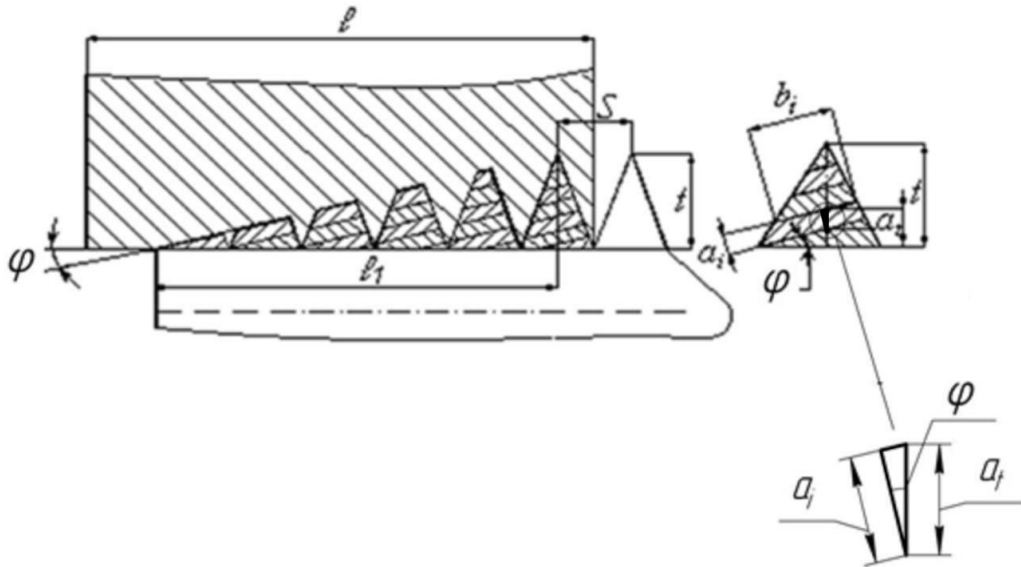


Рис. 51. Схема для определения геометрии срезаемого слоя при $l_1 < l$

1) Толщина срезаемого слоя a равна:

$$a = a_t \cos \varphi.$$

Толщину срезаемого слоя в направлении глубины резания a_t можно найти как:

$$a_t = \frac{t}{z_3},$$

где z_3 – число зубьев на заборной части метчика.

Число зубьев z_3 равно $z_3 = z \times k = z \times \frac{l_1}{S}$, где k – количество ниток резьбы.

Отсюда,

$$a_1 = \frac{tS}{zl_1} = \frac{S}{z} \operatorname{tg} \varphi.$$

Окончательно имеем,

$$a = \frac{S}{z} \operatorname{tg} \varphi \times \cos \varphi = \frac{S}{z} \times \sin \varphi.$$

2) *Ширина срезаемого слоя b* . Ширина срезаемого слоя изменяется от нуля до шага резьбы, т.е.

$$b = 0 - S.$$

Силы резания при нарезании резьбы метчиками определим по формулам для токарной обработки

$$P_z = \sum_{i=1}^m P_{z_i} = C_{P_z} a^{y_{P_z}} \left(\sum_{i=1}^m b_i \right);$$

Заменив $\sum_{i=1}^m b_i$ через $b_{\text{ср}}^{x_{P_z}}$ и число одновременно работающих зубьев метчика $m = \frac{l_1}{S} \times z$,

получим

$$P_z = C_{P_z} \frac{S^{x_{P_z} + y_{P_z} - 1}}{x_{P_z} + 1} (\sin \varphi)^{y_{P_z}} \times z^{1 - y_{P_z}} \times l_3 k_{P_z}.$$

В полученной формуле из-за влияния двух вспомогательных кромок показатель степени x_{P_z} необходимо брать равным $x_{P_z} = 0,9$.

Мощность резания при нарезании резьбы метчиками определяется по формуле

$$N_{\text{рез}} = \frac{M \times n}{975}, \text{ кВт.}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите методы получения резьбы.
2. Перечислите особенности процесса резания при нарезании резьбы лезвийным инструментом.
3. Назовите конструктивные элементы токарного резьбового резца и его геометрические параметры.
4. Назовите схемы резания формирования профиля резьбы при нарезании резьбы резцами.
5. Напишите выражения для определения толщины и ширины срезаемого слоя для различных схем резания при нарезании резьбы резцами.
6. Перечислите конструктивные и геометрические параметры метчика.
7. Напишите выражения для определения толщины и ширины срезаемого слоя при нарезании резьбы метчиками.

Модуль 7. ЗУБОНАРЕЗАНИЕ

7.1. Нарезание зубчатых колес дисковыми модульными фрезами

Для нарезания зубчатых колес применяются два метода: метод копирования и метод обкатки.

При методе копирования используется фасонный режущий инструмент, профиль режущей части которого соответствует профилю впадины нарезаемого зубчатого колеса (для этого используются фасонные дисковые фрезы, пальцевые фрезы, зубодолбежные головки). При методе обкатки, эвольвентный профиль зубчатого колеса получается в результате того, что режущий инструмент и заготовка рассматриваются как зубчатая пара, находящаяся в зацеплении, при этом инструменту кроме движения обкатки дается дополнительное движение, необходимое для обеспечения процесса резания (зубчатые колеса нарезаются, например, червячно-модульными фрезами, долбяками, строгальными резами).

Применение дисковых фрез ограничено из-за низкой точности получаемых зубчатых колес (9 – 10 степень точности) и малой производительности (из-за наличия движения деления).

Дисковая фреза (рис. 52) представляет собой фасонную фрезу с затылованными зубьями, профиль которых соответствует профилю впадины нарезаемого зубчатого колеса.

К геометрическим параметрам фрезы относятся передний γ и главный задний α углы для вершинной режущей кромки (рис. 52, б). Для чистовых фрез передний угол равен нулю, чтобы не изменялся профиль зуба нарезаемого зубчатого колеса при переточке фрезы.

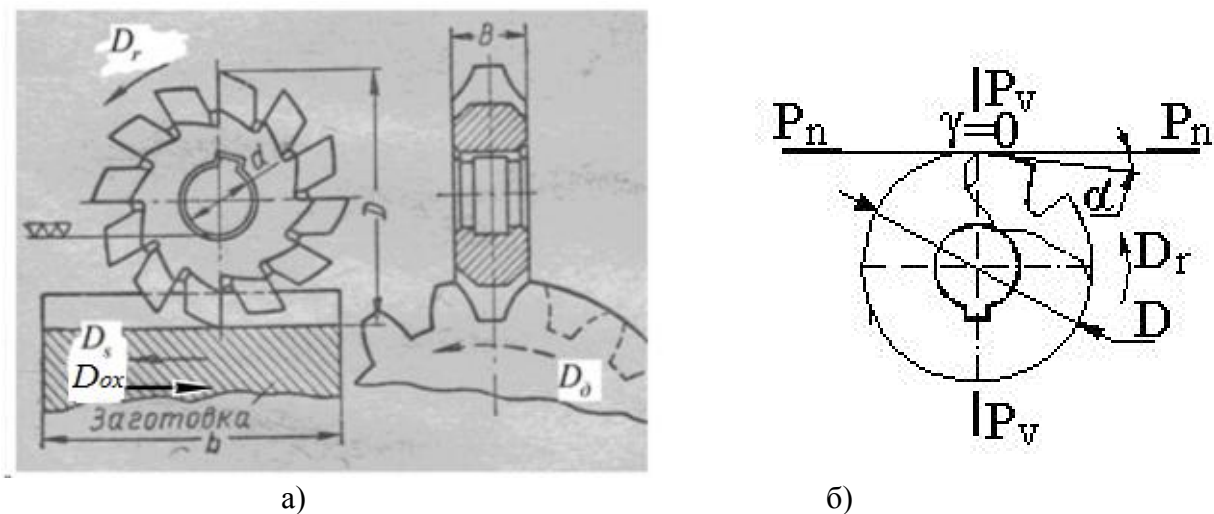


Рис. 52. Схема нарезания (а) зубчатых колес и геометрия (б) дисковой модульной фрезы

Главным движением D_r при работе дисковой модульной фрезой (рис. 52) является вращательное движение фрезы. Движением подачи D_s – поступательное (перпендикулярно оси фрезы) движение заготовки.

После нарезания одной впадины зубчатого колеса движением $D_{o.x}$ заготовка отводится от фрезы и производится движение деления D_d для нарезания следующей впадины зубчатого колеса.

Нарезание зубчатого колеса по данному методу осуществляется комплектом фрез (8 – 15).

Недостатки метода: низкая точность нарезания зубчатых колес (9 – 10 степень точности) и низкая производительность из-за наличия единичного движения деления (D_d).

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин.}$$

2. Глубина резания равна

$$t = 2,2m; t_{\text{чер}} = 1,4m, t_{\text{чист}} = 0,8m,$$

где m – модуль нарезаемого зубчатого колеса.

3. Подачу рассматривают:

- подачу на зуб S_z (мм/зуб),
 - подачу на оборот $S_0 = S_z \times z$ (мм/об),
 - минутную подачу – скорость движения подачи $S_{\text{мин}} = V_s = S_0 \times n$ (мм/мин).
4. Основное технологическое время

$$T_0 = \left(\frac{L}{V_s} + \frac{L}{V_{\text{ок}}} + T_{\text{дел}} \right) \times z.$$

где z – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса; $V_{\text{ок}}$ – скорость движения подачи при обратном ходе ($V_{\text{ок}} = S_0 \times n_{\text{ок}}$).

7.2. Нарезание зубчатых колес червячными фрезами

При нарезании зубчатых колес червячными фрезами обеспечивается более высокая точность (степень точности нарезаемых колес до 6 степени) и более высокая производительность обработки.

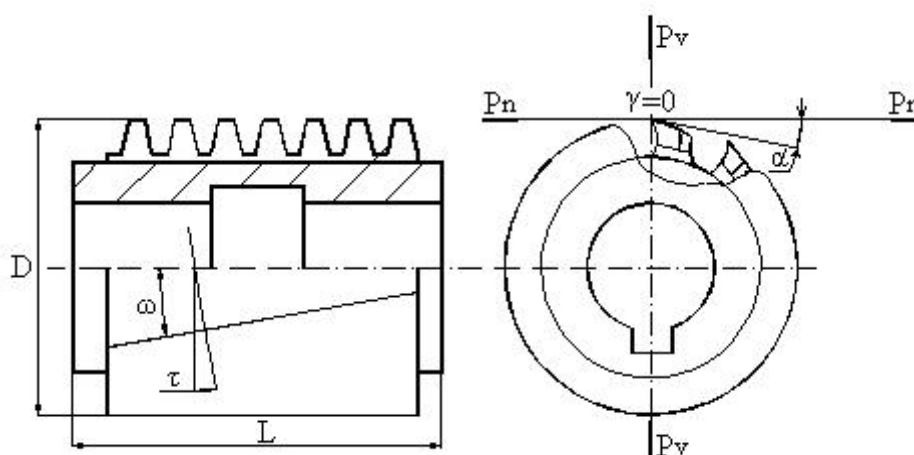


Рис. 53. Конструкция и геометрические параметры червячной фрезы

К геометрическим параметрам относятся (рис. 53): передний γ и главный задний α углы для вершинной режущей кромки; ω – угол наклона стружечной канавки; τ – угол подъема витков зубьев фрезы.

При нарезании прямозубых зубчатых колес ось червячной фрезы располагается под углом $\varphi = \tau$ к плоскости, перпендикулярной к оси нарезаемого зубчатого колеса (рис. 54).

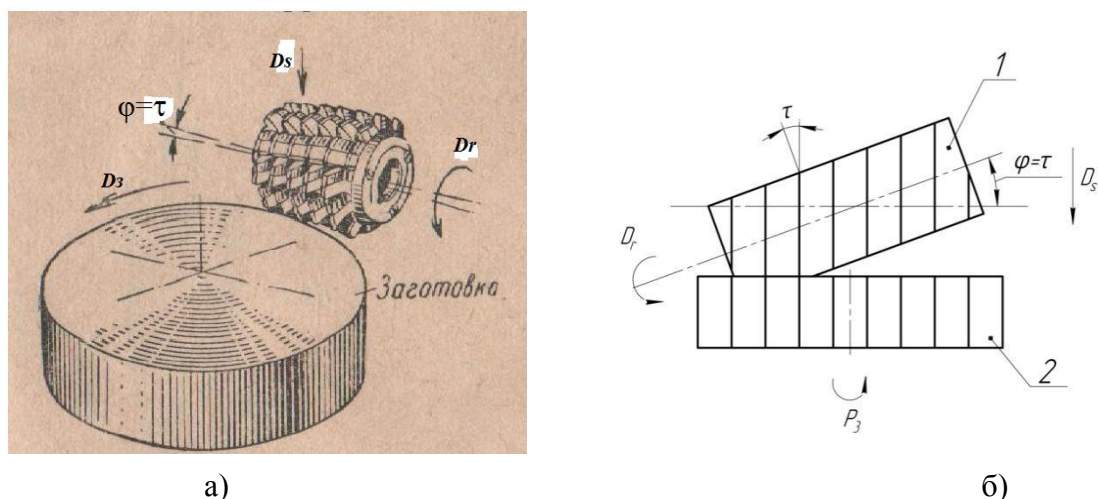


Рис. 54. Основные движения (а) и схема нарезания (б) прямозубых колёс червячными фрезами

При нарезании косозубых зубчатых колес ось фрезы располагается под углом $\varphi = \beta \pm \tau$, где β – угол наклона зубьев нарезаемого зубчатого колеса (знак минус выбирают тогда, когда наклон зубьев нарезаемого зубчатого колеса и фрезы не совпадает (рис. 55, а), если совпадает (рис. 55, б) – знак плюс).

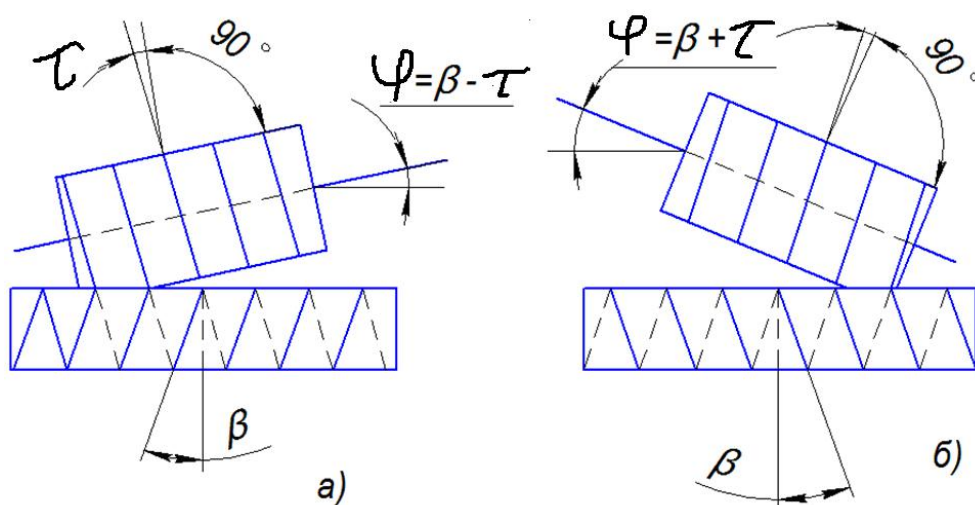


Рис. 55. Схема нарезания косозубых колес червячными фрезами

Главным движением D_r при работе червячными фрезами является вращение фрезы, цепь обкатки (непрерывного деления) связывает вращение фрезы D_r и заготовки D_z . За один оборот фрезы заготовка поворачивается на один зуб. Движение подачи D_s – перемещение фрезы вдоль оси заготовки.

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин.}$$

2. Глубина резания равна $t = 2,2m$ (при нарезании за один проход), где m – модуль нарезаемого зубчатого колеса.

3. Подача. Рассматривают подачу фрезы за один оборот заготовки S_0 (мм/об). Подача фрезы за свой оборот S_ϕ (мм/об) будет равна:

$$S_\phi = \frac{S_0}{z} \times k,$$

где k – количество заходов фрезы; z – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

Основное технологическое время:

$$T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{L}{S_0 \times n_{\text{зар}}}.$$

Учитывая, что $n_{\text{зар}} = \frac{n}{z}$, имеем $T_0 = \frac{L \times z}{S_0 \times n \times k}$.

7.3. Нарезание зубчатых колес зуборезными долбьяками

При нарезании зубчатых колес долбьяками обеспечивается 7 – 8 степень точности нарезаемых зубчатых колес. По сравнению с червячными фрезами производительность процесса меньше из-за наличия возвратно-поступательного движения долбьяка.

Главным движением D_r является возвратно-поступательное движение долбьяка (рис. 56). Цепь обкатки связывает вращение долбьяка D_d и заготовки D_z . При повороте долбьяка на один зуб заготовка также поворачивается на один зуб.

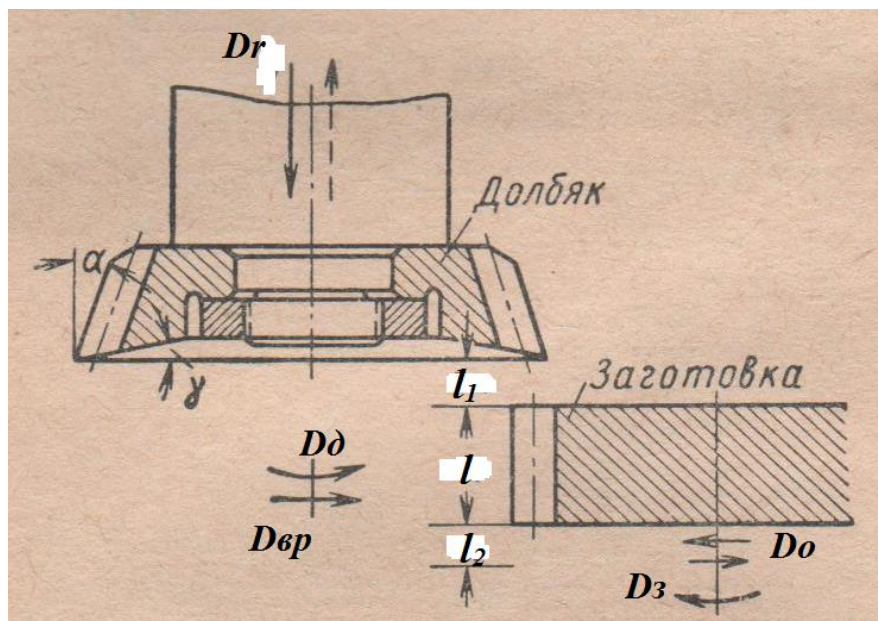


Рис. 56. Схема нарезание зубчатых колёс долбьяками

Для исключения трения задних поверхностей зубьев долбьяка при его обратном ходе заготовка движением D_0 отводится от долбьяка, а перед рабочим ходом к нему подводится. Движение $D_{вр}$ необходимо при нарезании зубчатого колеса за несколько проходов.

К геометрическим параметрам долбьяка относятся передний и главный задний углы для вершинной режущей кромки.

Элементы режима резания (рис. 56):

1. Скорость главного движения может быть подсчитана по формуле аналогичной строганию

$$V = \frac{K \times L}{1000} (1 + m),$$

учитывая, что $V_{р.х.} = V_{х.х.}$, т.е. $m = 1$, получим:

$$V = \frac{2 \times K \times L}{1000} (\text{м/мин}),$$

где k – число двойных ходов долбяка (дв.ход/ мин); $L_{рх} = l + l_1 + l_2$ – длина рабочего хода долбяка (мм); l – длина зубчатого венца, l_1 и l_2 – дополнительные длины (мм).

2. Глубина резания равна

$$t = 2,2m,$$

где m – модуль нарезаемого зубчатого колеса.

3. Круговая подача $S_{кр}$ – это перемещение долбяка по дуге начальной окружности за двойной ход (мм./дв.ход); скорость движения подачи (минутная подача $S_{мин}$)

$$V_s \times V_s = k \times S_{кр} (\text{мм/мин}).$$

Основное технологическое время складывается из времени, затрачиваемого на обкатку и врезание

$$T_0 = \frac{L}{V_s} = \frac{\pi \times m \times z}{k \times S_{кр}} + \frac{2,2 \times m}{k \times S_{вр}},$$

где $S_{вр}$ – подача на врезание ($S_{вр} = (0,1 - 0,15) \times S_{кр}$).

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите методы нарезания зубчатых колес и дайте их определение.
2. Нарисуйте схему нарезания зубчатых колес дисковой модульной фрезой и перечислите движения фрезы и заготовки.
3. Перечислите элементы режима резания при нарезании зубчатых колес дисковой модульной фрезой.
4. Перечислите конструктивные и геометрические параметры червячной фрезы.
5. Нарисуйте схему нарезания зубчатых колес червячной фрезой и перечислите движения инструмента и заготовки.
6. Нарисуйте схему нарезания зубчатых колес зуборезным долбяком и перечислите движения инструмента и заготовки.
7. Напишите выражения для определения основного технологического времени при нарезании зубчатых колес дисковой модульной фрезой, червячной фрезой и зуборезным долбяком.

Модуль 8. Методы абразивной обработки

8.1. Виды абразивной обработки

В зависимости от вида инструмента и кинематики станка различают следующие виды абразивной обработки:

- шлифование;
- хонингование;
- суперфиниширование;
- полирование;
- притирка (доводка).

Абразивная обработка обеспечивает точность обработки 5 – 6 качества и шероховатость обработанной поверхности R_a до 0,1 мкм. Рассмотрим различные виды абразивной обработки.

8.2. Шлифование

Различают следующие виды шлифования:

- 1) наружное круглое шлифование в центрах;
- 2) внутреннее шлифование;
- 3) бесцентровое шлифование;
- 4) плоское шлифование;
- 5) специальные виды шлифования.

8.2.1. Наружное круглое шлифование в центрах

Различают три основных способа данного вида шлифования:

- 1) шлифование с продольной подачей (когда длина обрабатываемой поверхности больше высоты шлифовального круга);
- 2) шлифование с поперечной подачей (когда высота шлифовального круга больше длины обрабатываемой поверхности);
- 3) глубинное шлифование (припуск на обработку при этом снимается за 1 – 2 прохода) (рис. 57).

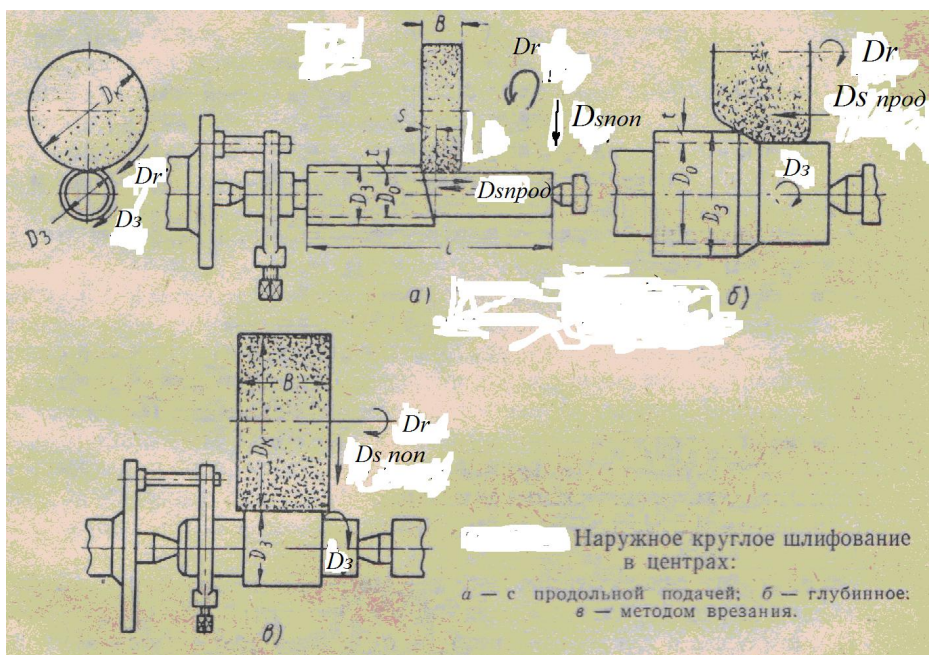


Рис. 57. Схемы наружного круглого шлифования в центрах

Рассмотрим шлифование с продольной подачей (рис. 57, а). Главным движением является вращение шлифовального круга D_r , движением подачи – перемещение заготовки относительно шлифовального круга вдоль своей оси D_s прод. В конце каждого хода (или двойного хода) шлифовального круга производится его перемещение в направлении перпендикулярном оси заготовки (для снятия заданного припуска) движением D_s поп.

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения – скорость вращения шлифовального круга $V_{шк}$

$$V_{шк} = \frac{\pi \times D_{шк} \times n_{шк}}{60 \cdot 1000} \text{ (м/с)},$$

где $D_{шк}$ и $n_{шк}$ – диаметр (мм) и частота вращения шлифовального круга (об/мин).

2. Скорость вращения заготовки V_3

$$V_3 = \frac{\pi \times D \times n_3}{100} \text{ (м/мин)},$$

где D и n_3 – диаметр обрабатываемой поверхности (мм) и частота вращения заготовки (об/мин).

3. Глубина резания

$$t = \frac{D - D_0}{2}, \text{ мм};$$

где D_0 – диаметр обработанной поверхности (мм).

Глубина резания равна поперечной подаче $S_{поп}$, которая осуществляется после каждого хода или двойного хода заготовки движением D_s поп.

4. Подача: рассматривают подачу на оборот заготовки S_0 , мм/об. После каждого (или двойного) продольного хода дается подача на «глубину» $S_{поп}$ мм/ход (мм/дв.ход). Скорость движения подачи (минутная подача)

$$V_s = S_{мин} = S_0 \times n_3, \text{ мм/мин.}$$

Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{L}{V} i \times \kappa = \frac{L \times h \times \kappa}{S_0 \times n_3 \times t},$$

где i – число проходов круга; κ – коэффициент выхаживания; h – заданный припуск на обработку.

8.2.2. Бесцентровое шлифование

Бесцентровое шлифование может применяться для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей. Схемы бесцентрового шлифования могут быть следующие: сквозное с продольной подачей, методом врезания с поперечной подачей и шлифование до упора. Рассмотрим бесцентровое наружное шлифование с продольной подачей, схема которого представлена на рис. 58. Заготовка 1 устанавливается на упоре 2 между шлифовальным кругом 3 и ведущим кругом 4, который обеспечивает вращение и перемещение заготовки.

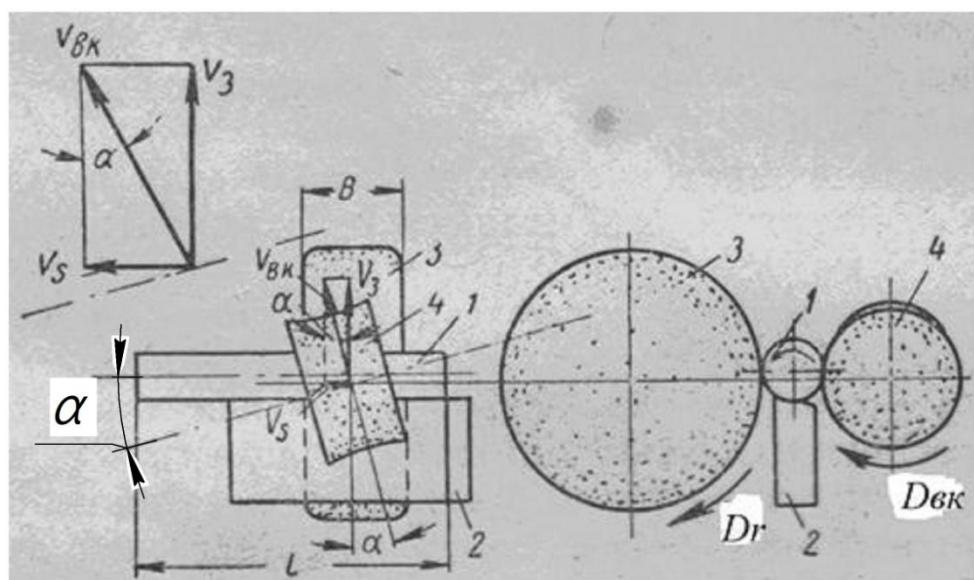


Рис. 58. Схема бесцентрового наружного шлифования:
1 – заготовка; 2 – упор; 3 – шлифовальный круг; 4 – ведущий круг

Для перемещения заготовки вдоль оси и возникновения скорости V_s ось ведущего круга располагается под углом α к оси заготовки ($\alpha = 1 - 4^\circ$). Для увеличения длины соприкосновения его с заготовкой ведущему кругу в процессе правки придают форму гиперboloида.

Ось заготовки устанавливается выше осей кругов на величину $h = (0,1 - 0,3) \times d$, где d – диаметр заготовки.

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения – скорость вращения шлифовального круга $V_{шк}$

$$V_{шк} = \frac{\pi D_{шк} n_{шк}}{60 \times 1000} \text{ (м/с)}.$$

2. Скорость вращения ведущего круга $V_{вк} = 15 - 30$ м/мин.
3. Скорость вращения заготовки

$$V_3 = V_{вк} \times \cos \alpha \approx V_{вк}.$$

4. Скорость движения подачи заготовки

$$V_s = S_{мин} = V_{вк} \times \sin \alpha \times \lambda \text{ (мм/мин)},$$

где λ – коэффициент проскальзывания ($\lambda = 0,95 - 0,99$).

5. Подача на оборот $S_0 = \frac{V_s}{n_3}$, мм/об.

Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{l+B}{V_s} i \times k$$

где l – длина заготовки; B – высота шлифовального круга, i – число проходов, k – коэффициент выхаживания.

8.2.3. Внутреннее шлифование

Схема внутреннего шлифования показана на рис. 59. Основные движения и элементы режима резания при внутреннем шлифовании аналогичны наружному внутреннему шлифованию в центрах.

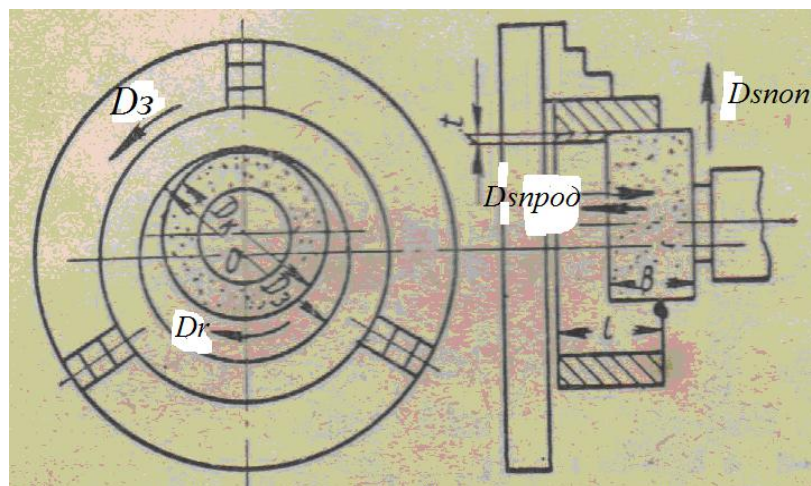


Рис. 59. Схема внутреннего шлифования:

Отличие заключается в том, что поперечная подача $S_{\text{поп}}$ задается за двойной ход шлифовального круга.

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения – скорость вращения шлифовального круга

$$V_{\text{шк}} = \frac{\pi \times D_{\text{шк}} \times n_{\text{шк}}}{60 \times 1000} \text{ (м/с)}.$$

2. Скорость вращения заготовки

$$V_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000} \text{ (м/мин)}.$$

3. Глубина резания

$$t = \frac{D - D_0}{2} \text{ (мм)}.$$

4. Подача на оборот – S_0 (мм/об); скорость движения подачи, минутная подача – $V_s = S_{\text{мин}} = S_0 \times n_3$, (мм/мин); поперечная подача $S_{\text{поп}}$, мм/дв ход.
Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{2 \times L \times h \times k}{S_0 \times n_3 \times t}$$

8.2.4. Плоское шлифование периферией круга

Плоское шлифование осуществляется двумя методами: периферией круга и торцом круга. Рассмотрим плоское шлифование периферией круга (рис. 60). Главное движение D_r вращательное движение шлифовального круга, движение подачи D_s прод возвратно-поступательное перемещение заготовки вдоль своей оси.

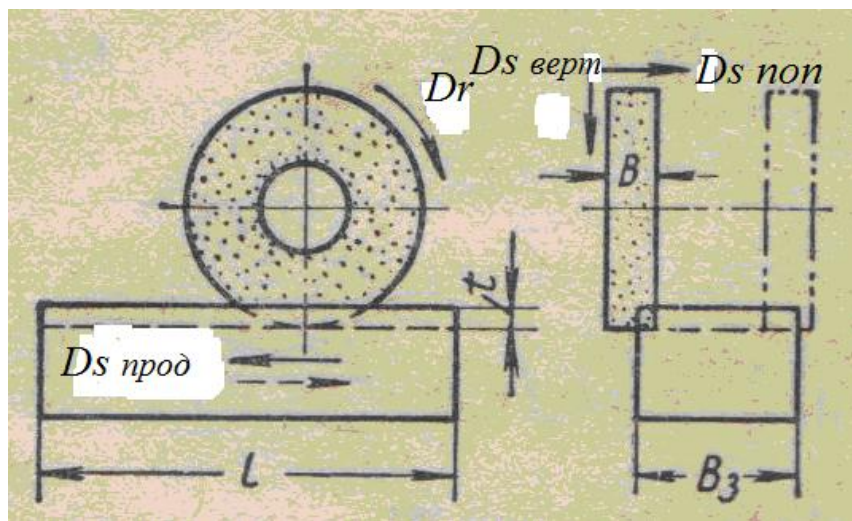


Рис. 60. Схема плоского шлифования периферией круга

Для обработки заготовки по всей ширине она совершает поперечное движение D_s поп. После обработки заготовки по всей ширине шлифовальный круг перемещается в вертикальном направлении движением D_s верт.

Элементы режима резания:

1. Скорость главного движения – вращение шлифовального круга

$$V_{\text{шк}} = \frac{\pi \times D_{\text{шк}} \times n_{\text{шк}}}{60 \times 1000} \text{ (м/с)}$$

2. Скорость движения подачи $V_s = S_{\text{мин}}$ (м/мин).

3. Глубина резания t (мм).

4. Поперечная подача чаще совершается в конце каждого продольного хода стола с заготовкой $S_{\text{поп}} = S_d \cdot B$ (мм.ход.стола).

Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{L}{V_s} i_1 \times i_2 \times k, \text{ где } i_1 = \frac{h}{t}, i_2 = \frac{H}{S_d \cdot B}$$

Окончательно имеем

$$T_0 = \frac{L \times H \times h \times \kappa}{1000 \times V_s \times S_{\text{поп}} \times B \times t},$$

где H – величина перемещения круга в направлении движения D_s поп., $H = B_3 + B + (5 - 10)$ (мм); L – длина продольного хода стола – $L = l + (10 - 15)$ (мм).

8.3. Отделочные методы абразивной обработки

Отделочные методы абразивной обработки по сравнению с шлифованию обеспечивают более высокую точность обработки и меньшую высоту шероховатости обработанной поверхности (4 – 6 квалитет точности и шероховатость обработанной поверхности до $R_a 0,1$ мкм).

Хонингование применяется для обработки внутренних цилиндрических и реже наружных плоскостей, обеспечивает высокую точность по размерам, форме, но не изменяет положение осей отверстия, полученное на предыдущих операциях.

В качестве режущего инструмента используется хон, оснащенный абразивными брусками, которые могут самоустанавливаться по отверстию. Абразивные бруски для снятия припуска имеют возможность перемещаться в радиальном направлении.

Хонинговальная головка совершает два движения: вращательное D_r и возвратно-поступательное D_s (рис. 61). Отношение скоростей V_r и V_s равно 2 – 4; скорость главного движения $V_r = 40 - 80$ м/мин.

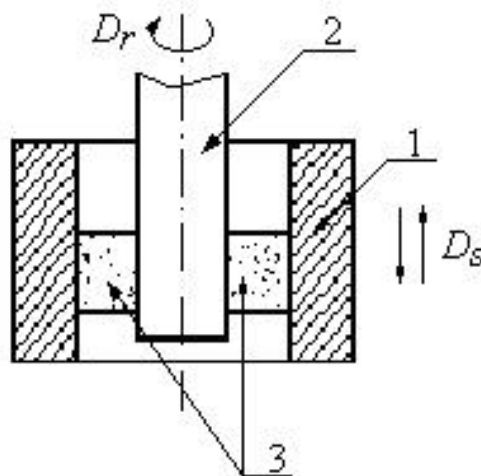


Рис. 61. Схема хонингования отверстия:

1 – заготовка; 2 – инструментальная головка-хон; 3 – абразивные бруски

Суперфиниширование – процесс сверхтонкой абразивной обработки круглых наружных и внутренних поверхностей и заключается в снятии остаточных микрогребешков поверхности (припуск 5 – 10 мкм). Суперфиниширование уменьшает высоту микронеровностей обработанной поверхности, но не изменяет точности (по размерам, форме, взаиморасположению поверхностей) полученной на предыдущей операции.

При суперфинишировании (рис. 62) заготовка вращается со скоростью $V_3 = 10 - 30$ м/мин. Инструментальная головка прижимается к заготовке силой P и совершает возвратно-поступательное движение D_r со скоростью V_r около 1000 мм/мин. Кроме того,

инструментальная головка имеет колебательное (асцилирующее) движение D_a с частотой 250 – 1000 кол/мин при амплитуде 1 – 5 мм.



Рис. 62. Схема процесса суперфиниширования наружной цилиндрической поверхности:
1 – инструментальная головка; 2 – заготовка

Полирование уменьшает высоту микронеровностей обработанной поверхности, при этом точность обработки, полученная на предыдущей операции, не изменяется. Обработка осуществляется с помощью мягкого абразива (окиси хрома, алюминия, кремния), который наносится на круги из дерева, войлока или фетра. Полирование производится в **несколько** проходов с постепенным уменьшением зернистости абразива.

Притирка (доводка) обеспечивает самую высокую точность обработки и малую высоту микронеровностей обработанной поверхности. Процесс резания заключается в снятии тонких слоев материала мелкозернистым абразивным порошком в среде смазки при относительных движениях притира и заготовки.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите методы абразивной обработки.
2. Нарисуйте схему наружного круглого шлифования в центрах и перечислите основные движения заготовки и шлифовального круга.
3. Нарисуйте схему бесцентрового шлифования и перечислите основные движения заготовки и шлифовального круга.
4. Нарисуйте схему внутреннего шлифования и перечислите основные движения заготовки и шлифовального круга.
5. Нарисуйте схему плоского шлифования и перечислите основные движения заготовки и шлифовального круга.
6. Напишите выражения для определения основного технологического времени для различных методов шлифования.
7. Перечислите отделочные методы абразивной обработки.
8. Нарисуйте схемы отделочных методов абразивной обработки и перечислите движения инструмента и заготовки.

Модуль 9. Пути интенсификации методов механической обработки

9.1. Резание с опережающим пластическим деформированием

Рассмотрим некоторые пути интенсификации процессов механической обработки, которые касаются в основном обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов.

Резание с определяющим пластическим деформированием (ОПД) (рис. 63) обеспечивает улучшение условий стружкообразования путем рационального изменения физико-механических свойств материала срезаемого слоя вследствие его упрочнения до процесса срезания.

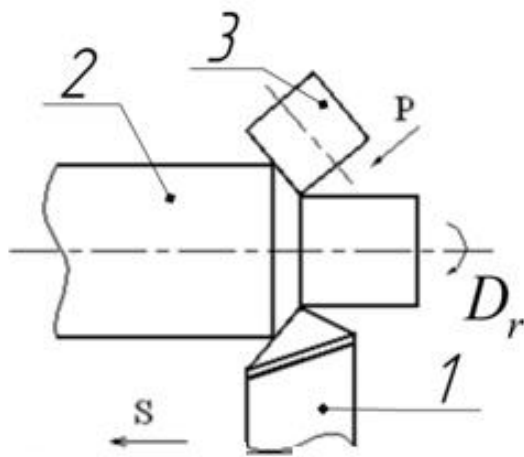


Рис. 63. Схема

резания с опережающими пластическими деформациями

резания с опережающими

Упрочнение обрабатываемого материала осуществляют накатным устройством, которое создает глубину и степень наклепа в срезаемом слое, необходимые для получения максимальной эффективности последующего процесса резания.

При обычном резании металлов основная доля работы резания расходуется на пластическое деформирование снимаемого слоя.

Сущность резания с определяющим пластическим деформированием материала срезаемого слоя состоит в совмещении двух процессов – опережающего пластического деформирования и непосредственно процесса резания. При этом к моменту начала воздействия режущего инструмента на материал срезаемого слоя (т.е. к началу резания) часть работы, затрачиваемой на пластические деформации в процессе стружкообразования, уже предварительно выполняется накатным устройством. Следовательно, в процессе резания с ОПД режущим инструментом совершается не вся работа, а только ее часть. Это обеспечивает снижение силы резания и температуры резания, что ведет к повышению периода стойкости инструмента и производительности обработки.

Определяющее пластическое деформирование может производиться по поверхности резания (как показано на рис. 63) или по обрабатываемой поверхности. При черновой обработке применение резания с ОПД приводит к повышению периода стойкости инструмента или производительности обработки. При чистовой обработке ОПД используется, прежде всего, как средство улучшения шероховатости поверхности.

Резание с ОПД наряду со значительным повышением периода стойкости инструмента позволяет улучшить эксплуатационные характеристики обрабатываемых деталей. При этом поверхностный слой получается повышенной твердости, в нем образуются остаточные сжимающие напряжения. Применяется резание с ОПД в основном для обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов.

9.2. Обработка резанием с вибрациями

Процесс вибрационного резания заключается в том, что на обычно принятую кинематическую схему обработки на данной операции накладывается дополнительное вибрационное движение инструмента или заготовки.

Общими особенностями резания с вибрациями являются: кратковременное периодическое увеличение скоростей резания; переменная циклическая нагрузка на деформируемый в процессе резания материал; снижение сил трения на контактных поверхностях инструмента; повышение эффективности применения СОЖ.

Эти особенности приводят к улучшению условий работы режущего инструмента в результате снижения сил резания и температур, периодического «отдыха» режущей кромки инструмента вследствие кратковременного уменьшения или полного снятия нагрузки на режущий клин инструмента.

Применение вибрационного резания обеспечивает эффективное дробление стружки, а также значительное улучшение обрабатываемости резанием материалов, прежде всего труднообрабатываемых.

Наложение вибраций может производиться в следующих плоскостях (рис. 64): в осевой плоскости (вибрации направлены вдоль оси заготовки – плоскость X-X); в радиальной плоскости (вибрации направлены вдоль оси режущего инструмента – плоскость Y-Y); в тангенциальной плоскости (вибрации направлены в плоскости Z-Z).

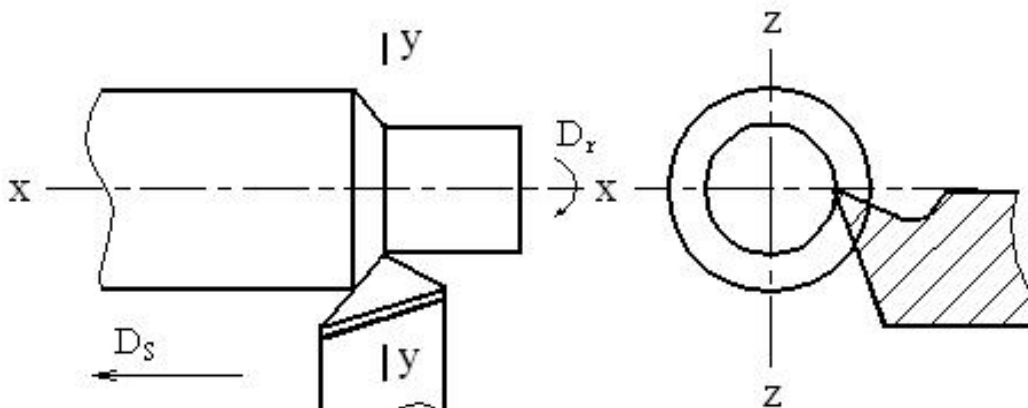


Рис. 64. Схема резания с вибрациями

Как показывают многочисленные исследования, наличие радиальных вибраций значительных амплитуд отрицательно сказывается на процессе резания – сильно ухудшается шероховатость поверхности. Резание с осевыми вибрациями применяется для дробления стружки. Наряду с этим оно обеспечивает получение удовлетворительной шероховатости поверхности, сохранение точности обработки, периода стойкости инструмента, что и при обычном резании в тех же условиях. Вибрационное резание с тангенциальными колебаниями применяется для повышения периода стойкости инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов.

9.3. Ультразвуковое резание

Данная обработка основана на использовании энергии ультразвуковых колебаний. Источником ультразвука являются магнитострикционные преобразователи, возбуждаемые от ультразвуковых генераторов. Известны четыре области применения энергии ультразвуковых колебаний при механической обработке:

1. Обработка мелких деталей свободным абразивом.
2. Размерная ультразвуковая обработка хрупких материалов.
3. Очистка шлифовальных кругов в процессе обработки.
4. Применение ультразвуковых колебаний для облегчения процессов механической обработки труднообрабатываемых материалов, путем наложения ультразвуковых колебаний на режущий инструмент.

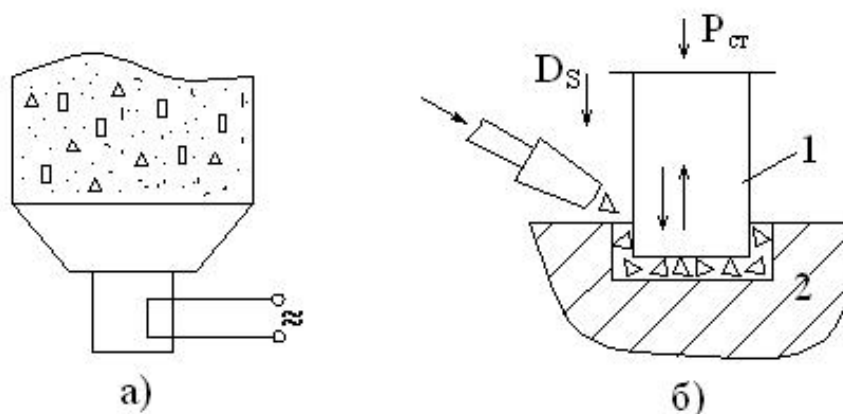


Рис. 65. Схемы ультразвуковой обработки:

а – обработка свободным абразивом, б – размерная ультразвуковая обработка

При обработке по первой разновидности (рис. 65, а) заготовки небольших размеров помещают в абразивную суспензию, в которой возбуждаются интенсивные ультразвуковые колебания. Под действием гидродинамических потоков абразивные зерна и заготовки двигаются с различными скоростями, и происходит декоративное шлифование и снятие заусенцев.

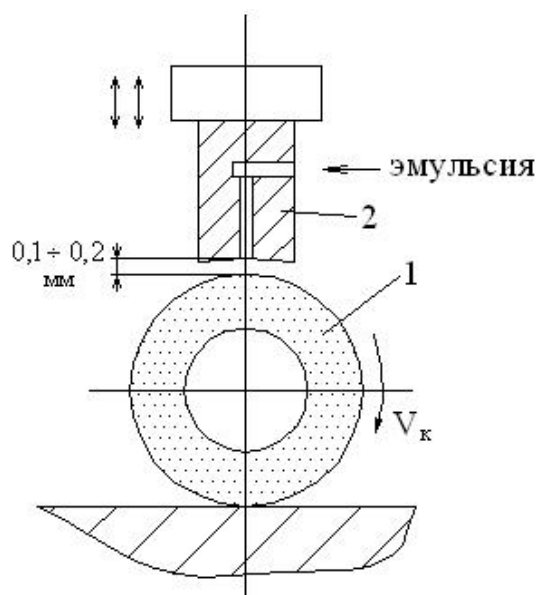


Рис. 66. Схема очистки шлифовальных кругов:

1 – шлифовальный круг; 2– насадка

При размерной ультразвуковой обработке (рис. 65, б) инструмент 1 совершает продольные колебания с ультразвуковой частотой и небольшой амплитудой. Инструмент прижимается к заготовке 2 со статической силой $P_{ст}$ (2 – 15 кгс). В рабочую зону подается взвешенный в воде абразив, обычно зерна карбида бора. Области применения размерной ультразвуковой обработки – изготовление деталей сложной конфигурации из стекла, кварца, керамики, полупроводниковых материалов. Ультразвуковая обработка состоит из двух основных процессов: ударного внедрения абразивных зерен, которое вызывает выкалывание небольших частиц материала заготовки и процесса циркуляции и смены абразива в рабочей зоне, в результате чего происходит унос выколотых частиц и доставка свежего абразива.

Схема очистки шлифовальных кругов показана на рис. 66. Под действием ультразвука в жидкости, попадающей в пространство между кругом и насадкой, возникает кавитация, способствующая очистке круга.

Механическая обработка с ультразвуковыми колебаниями является разновидностью резания с вибрациями. Эта обработка позволяет улучшить процесс резания жаропрочных сталей и сплавов. Наложение ультразвуковых колебаний приводит к ликвидации нароста, снижению сил резания и наклепа обработанной поверхности, а также ее шероховатости. Повышение периода стойкости наблюдается только для быстрорежущего инструмента и абразивного инструмента.

9.4. Применение СОЖ при резании металлов

Применение СОЖ при резании является одним из путей повышения работоспособности режущих инструментов и интенсификации процесса резания.

Действие смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при резании определяется основными ее свойствами: смазывающим, охлаждающим, моющим и режущим.

Смазывающее действие СОЖ заключается в создании на контактных площадках режущего инструмента различного рода пленок, которые полностью или частично предотвращают контакт передней поверхности со стружкой и задних поверхностей с обрабатываемым материалом. По характеру пленки могут быть физическими, химическими и механическими. Физические пленки образуются в результате молекулярной адсорбции, они имеют высокое сопротивление на сдвиг, но плохо сопротивляются нормальным нагрузкам и имеют низкую термостойкость. Условием образования физических пленок является присутствие в СОЖ поверхностно-активных веществ. Химические пленки образуются в результате хемосорбции, которая сопровождается химической реакцией между СОЖ и контактными поверхностями режущего инструмента. Эти пленки имеют низкое сопротивление на сдвиг, но лучше воспринимают нормальные нагрузки и имеют высокую термостойкость. Условием их образования является присутствие в СОЖ веществ, химически активных по отношению к материалу инструмента. Механические пленки образуются вследствие содержания в СОЖ твердых веществ, которые заполняют впадины микронеровностей контактной поверхности режущего инструмента. Эти пленки имеют еще меньшее сопротивление на сдвиг, чем химические. Смазывающее действие СОЖ проявляется в снижении трения и схватывания на контактных площадках режущего инструмента.

Охлаждающее свойство СОЖ заключается в отводе тепла от инструмента, заготовки и стружки и проявляется в снижении температуры на контактных площадках и в режущем клине режущего инструмента.

Моющее свойство СОЖ заключается в удалении продуктов износа и мелкодисперсной стружки из зоны обработки и проявляется в снижении абразивного изнашивания инструмента.

Режущее свойство СОЖ заключается в том, что наличие в ней поверхностно-активных веществ облегчает процесс разрыва связи в обрабатываемом материале при внедрении режущего клина режущего инструмента в поверхностный слой заготовки.

Вопросы для самоконтроля

1. Нарисуйте схему резания с опережающими пластическими деформациями и перечислите движения заготовки и инструмента.
2. Объясните сущность резания с опережающими пластическими деформациями.
3. Перечислите основные особенности процесса резания с вибрациями.
4. Назовите области применения энергии ультразвуковых колебаний при механической обработке.
5. Нарисуйте схему размерной ультразвуковой обработки и назовите области ее применения.
6. Перечислите основные свойства смазочно-охлаждающей жидкости при резании металлов.
7. В чем заключаются и как проявляются основные свойства смазочно-охлаждающей жидкости при резании металлов.

Модуль 10. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ

Совершенствование различных технологических процессов обработки резанием обусловлено целым рядом факторов:

1) Возрастаем точности обработки и качества обработанной поверхности. Для обеспечения этого разрабатываются технологии сверхточной обработки (нанотехнологии). При этом используются режущие инструменты с идеальной остротой режущих кромок, позволяющий снимать сверхтонкие слои металла.

2) Повышением скоростей резания до максимально допустимого уровня с точки зрения безопасности работы станка. Такой процесс получил название сверхскоростной обработки.

3) Ограничением использования СОЖ. Затраты на использование и последующую утилизацию СОЖ в современном производстве в несколько раз превышают затраты на режущие инструменты. Кроме того, СОЖ отрицательно влияет на состояние здоровья человека и окружающую среду. В связи с этим все более широкое распространение получает резание без использования (сухое резание) либо с минимальным использованием СОЖ.

4) Использованием лезвийной обработки высокотвердых и закаленных материалов вместо шлифования. Такие технологии находят все более широкое применение благодаря расширенному использованию сменных пластин из сверхтвердых материалов и режущей керамики.

Определенным условием расширения традиционных границ обработки материалов является введение в зону обработки дополнительной энергии, которая либо поступает извне, либо остается после предыдущих технологических операций.

10.1. Применение режущих инструментов с износостойкими покрытиями

Главная задача нанесения покрытия создание композиционного инструментального материала с высокой износостойкостью поверхностного слоя (за счет нанесенного покрытия) и вязкой прочной основой. Покрытие следует наносить на те инструментальные материалы, которые обладают вязкой основой и имеют недостаточную поверхностную износостойкость. К таким инструментальным материалам относятся углеродистые, легированные и быстрорежущие стали, твердые сплавы группы ВК, ТТК и более прочные сплавы из группы ТК (например, сплав Т5К10). Для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент применяются методы химического (ХОП) и физического (ФОП) осаждения покрытий.

Методы химического осаждения покрытий. Методы ХОП являются высокотемпературными (температура процесса 1000°C) и применяются для нанесения покрытий на неперетачиваемые твердосплавные пластины и цельный твердосплавный инструмент. В качестве покрытий используются карбиды, нитриды и карбонитриды титана, оксид алюминия (TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃).

Методы физического осаждения покрытий. Наибольшее применение получил метод КИБ (метод конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой), который позволяет наносить покрытия как на быстрорежущий, так и на твердосплавный инструмент. Данным методом наносятся покрытия различного состава и конструкции – однослойные и многослойные на основе нитридов, карбидов, карбонитридов тугоплавких металлов (например, однослойные одноэлементные TiN, ZrN, CrN, многоэлементные TiMoN, TiAlN, TiZrN, многослойные TiN+TiCN+TiZrN и др.).

Применение методов нанесения покрытий позволяет повысить период стойкости режущего инструмента при обработке конструкционных сталей в 2 – 5 раз.

10.2. Высокоскоростное резание

Идея высокоскоростного резания (ВСР) (скорости резания до 18000 м/мин) была высказана в 30-х годах прошлого века немецким исследователем Саломоном. Смысл данной идеи заключался в следующем (рис. 67). С увеличением скорости резания до V_A температура резания достигает значения $T_{кр}$, при котором в материале инструмента начинаются необратимые процессы теплового разупрочнения, которые делают дальнейший процесс резания невозможным. Саломон выдвинул гипотезу, согласно которой при дальнейшем увеличении скорости резания температурная кривая, достигнув некоторого максимального значения, начнет убывать, и при достижении скорости V_B температура при резании вновь станет ниже критической, в связи с чем, в этой зоне скоростей можно снова производить процесс снятия стружки (рис. 67).

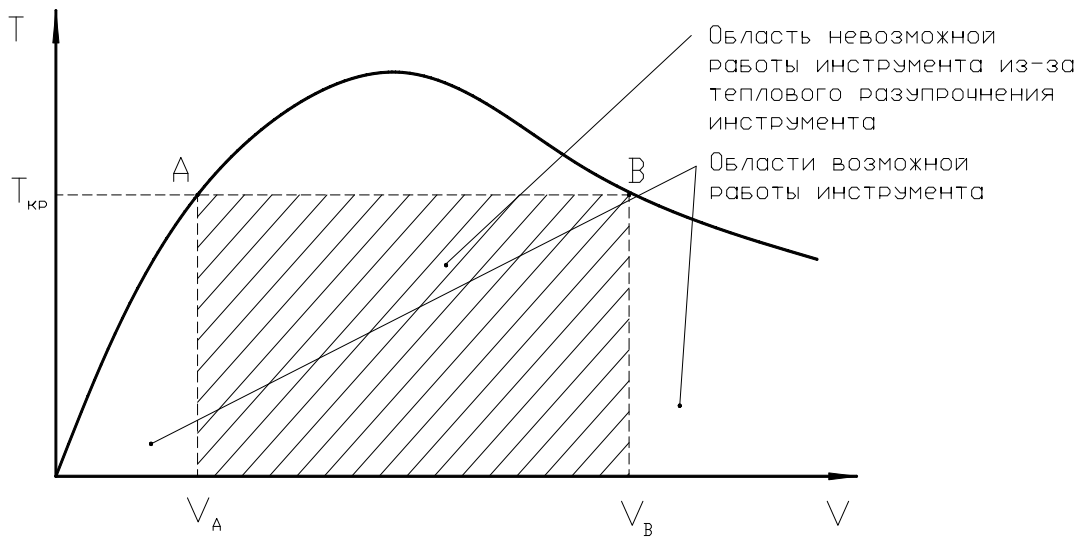


Рис. 67. Влияние скорости резания на температуру

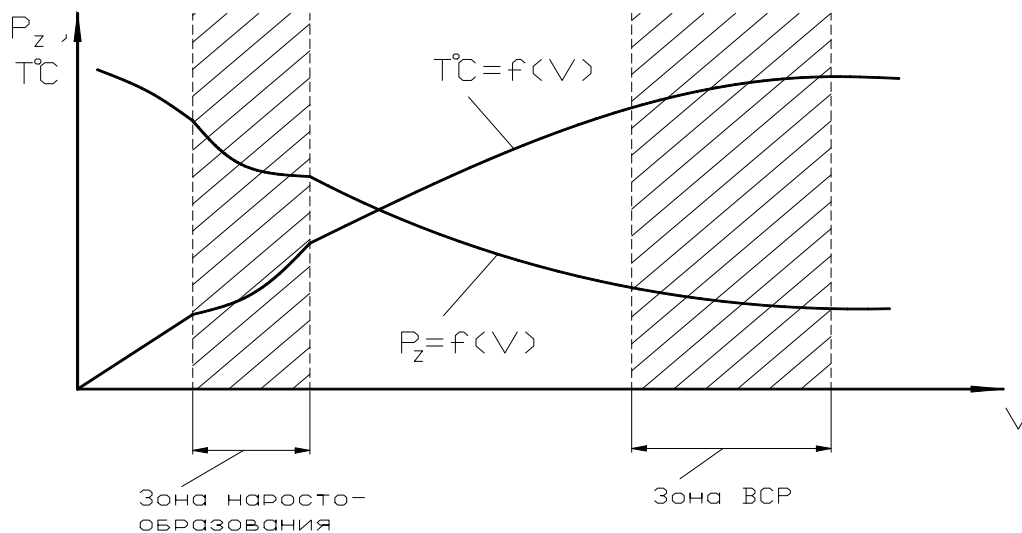


Рис. 68. Влияние скорости резания на температуру T^C и силу резания P_z

Следует отметить, что понятие ВСП даже в настоящее время не до конца определено, и выдвинутая гипотеза Саломона до сих пор не подтверждена практикой и теоретическими исследованиями. На рис. 68 показаны зависимости изменения силы резания и температуры от скорости резания. Как видно, с увеличением скорости резания температура возрастает, а темп ее увеличения снижается, и в пределе стремится к температуре плавления обрабатываемого материала. Как показывают исследования в области обработки материалов резанием, на сегодняшний день нет данных по снижению температуры резания с повышением скорости резания. Значение силы резания с увеличением скорости резания уменьшается, и, достигнув определенного уровня, практически не изменяется. И только на очень высоких скоростях резания наблюдается некоторое ее увеличение, связанное с ростом инерционных сил от неуравновешенности инструмента и сходящей стружки.

Таким образом, зависимости $T^{\circ}C = f(V)$ и $P_z = f(V)$ позволяют однозначно утверждать, что увеличение скорости резания в области ее высоких значений приводит к росту общего количества тепла, выделившегося при снятии стружки.

Как известно, несмотря на общий рост количества теплообразования, с увеличением скорости резания происходит перераспределение тепла, уходящего в стружку, заготовку и в режущий инструмент. При этом, доля тепла, уходящего в стружку возрастает, а доля тепла, уходящего в заготовку и инструмент, уменьшается. Однако, несмотря на снижение доли тепла, уходящего в режущий инструмент, общее его количество увеличивается. Поэтому с повышением скорости резания тепловые условия эксплуатации режущего инструмента становятся более жесткими. Таким образом, зона высокоскоростного резания, указанная на кривой Саломона, не может быть достигнута даже теоретически, и процесс резания может происходить в зоне до критических скоростей V_A . Однако необходимо отметить, что если температура плавления обрабатываемого материала будет ниже температуры теплостойкости инструментального материала, то ограничений по скорости резания не будет. В этом случае скорость резания будет ограничиваться только возможностями оборудования и техники безопасности. Примером такого подхода может служить опыт обработки алюминиевых сплавов и некоторых видов пластмасс. В противном случае ограничение скорости резания всегда будет определяться уровнем теплостойкости инструментального материала или – в условиях динамических колебаний – уровнем его прочностных свойств.

Под термином ВСП следует понимать сочетание всех технологических средств, способных поднять скорость обработки при резании выше общепринятого предела. Четких границ, выше которых простое фрезерование, точение или сверление становятся высокоскоростными, на сегодняшний день не существует. Поэтому понятие «высокая скорость резания» является относительным. Например, увеличение скорости обработки при фрезеровании стали с 250 м/мин до 750 м/мин уже является переходом в область ВСП. Скорость 2500 м/мин вместо 250 м/мин при фрезеровании алюминиевых сплавов уже является ВСП. При обработке никелевых сплавов предел скоростей ВСП лежит на уровне 50 м/мин. Таким образом, высокая скорость резания всегда относительна в зависимости от условий обработки.

10.3. Сухое резание

СОЖ в последние годы рассматривают все чаще как нежелательный фактор в производстве, что обусловлено экономическими (затраты, связанные с применением СОЖ – доставка, использование, регенерация и т.д. – составляют от 7,5 до 17% общих производственных затрат, тогда как расходы на инструмент составляют только 4%) и экологическими причинами, в том числе все более жесткими международными законодательными актами об охране окружающей среды. В тоже время, имеются операции механической обработки, где невозможно, в настоящее время, обойтись без СОЖ. Это, например, операции глубинного сверления, шлифования и др.

Известно, что резание всухую приводит к повышению температуры и, как следствие, ускоренному изнашиванию инструмента, возрастанию термических напряжений в заготовке, ее тепловым деформациям и другим отрицательным последствиям. Эти воздействия можно уменьшить за счет:

- выбора технологии обработки, не требующей использования СОЖ;
- изменения конструкции и геометрии инструмента (размеров поверхностей, контактирующих с заготовкой и стружкой);
- использования износостойких покрытий режущего инструмента;
- подбора марки инструментального материала с повышенными теплостойкостью и теплопроводностью;
- использования твердых, газообразных смазочных веществ, либо СОЖ с минимальным расходом в распыленном состоянии.

Применение СОЖ в малых количествах не требует значительных затрат на ее очистку и утилизацию, но в то же время обеспечивает снижение коэффициента трения и схватывания на контактных площадках инструмента.

Основная проблема при резании всухую – правильный выбор инструментального материала с учетом специфики процесса резания. Режущие инструменты при сухой обработке должны обеспечить приемлемые условия резания и иметь высокий период стойкости. В первую очередь при такой обработке рекомендуется использовать твердые сплавы с износостойкими покрытиями, минералокерамику и сверхтвердые материалы.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите факторы, обуславливающие совершенствование процессов механической обработки.
2. Перечислите методы нанесения износостойких покрытий режущего инструмента.
3. Дайте определение высокоскоростного резания и назовите условие его реализации.
4. Охарактеризуйте процесс сухого резания и назовите условия его реализации.