

Учебное пособие Резание металлов

Учебная дисциплина «Резание металлов» является первой дисциплиной технологического цикла, формирующей у студентов основы знаний по механической обработке металлов, она является отправным пунктом в изучении таких учебных дисциплин, как «Режущие инструменты», «Оборудование машиностроительного производства» и «Технология машиностроения» ; знания по «Резанию металлов» необходимы для осознанного восприятия и оценки всех сопровождающих процесс резания явлений и их влияния на эффективность механической обработки.

В первой части дисциплины рассматриваются физические основы резания металлов, во второй части - основные виды механической обработки металлов.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные понятия, термины и определения.....	4
2. Основные случаи резания.....	8
3. Режущие инструменты.....	9
3.1. Геометрические параметры режущей части инструментов	9
4. Процесс образования стружки	19
Состояние материала в зоне резания и виды образующихся стружек.....	19
Усадка стружки	25
5. Образование нароста и состояние материала под поверхностью резания.....	28
6. Силы и работа резания.....	36
6.1. Система сил при свободном резании.....	36
Система сил при несвободном резании.....	40
Работа резания.....	42
7. Тепловые явления при резании металлов.....	43
7.1. Источники и распределение теплоты в зоне резания	43
7.2 Методы измерения температуры в зоне резания.....	47
7.3. Температурное поле после резца	50
7.4 Зависимость температуры от элементов режима резания.....	51
8. Основой закон стойкости	52
9. Виды обработки резанием	55
Точение	56
Сверление	60
Фрезерование	64
Протягивание.....	69
Нарезание резьбы.....	74
Шлифование	80
Особенности процесса резания при шлифовании	80

Работа единичного зерна.....	82
Абразивные инструменты и их маркировка	84
Плоское и круглое шлифование	86
10. Особенности проектирования приспособлений для станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и гибких производственных систем	89
Особенности установки приспособлений на станках с ЧПУ	90
Системы приспособлений применяемых на станках с ЧПУ	93
11. Система универсально сборной и переналаживаемой оснастки(УСПО).98	
Приспособления для обрабатывающих центров	102
Приспособления для гибких автоматизированных участков из станков с ЧПУ.	103
Список использованной и рекомендуемой литературы.....	106

1. Основные понятия, термины и определения

При обработке металлов резанием изделие получается в результате срезания с заготовки слоя припуска, который удаляется в виде стружки. Готовая деталь ограничивается вновь образованными обработанными поверхностями. На обрабатываемой заготовке в процессе резания различают обрабатываемую и обработанную поверхности. Кроме того, непосредственно в процессе резания режущей кромкой инструмента образуется и временно существует поверхность резания (рис. 2.1).

Для осуществления процесса резания необходимо и достаточно иметь одно взаимное перемещение детали и инструмента. Однако для обработки поверхности одного взаимного перемещения, как правило, недостаточно. В этом случае бывает необходимо иметь два или более, взаимосвязанных движений обрабатываемой детали и инструмента. Совокупность нескольких движений инструмента и обрабатываемой детали обеспечивает получение поверхности требуемой формы. При этом движение с наибольшей скоростью называется главным движением (D_r), а все остальные движения называются движениями подачи (D_s). Суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение и движение подачи, называется результирующим движением резания (D_e). Геометрическая сумма скорости главного движения резания и скорости движения подачи определяет величину скорости результирующего движения резания (V_e). Плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения резания и движения подачи (рис. 2.1), называется рабочей плоскостью (P_s). В этой

плоскости измеряются угол скорости резания η и угол подачи μ . Для случаев токарной обработки этот угол равен 90 градусам.

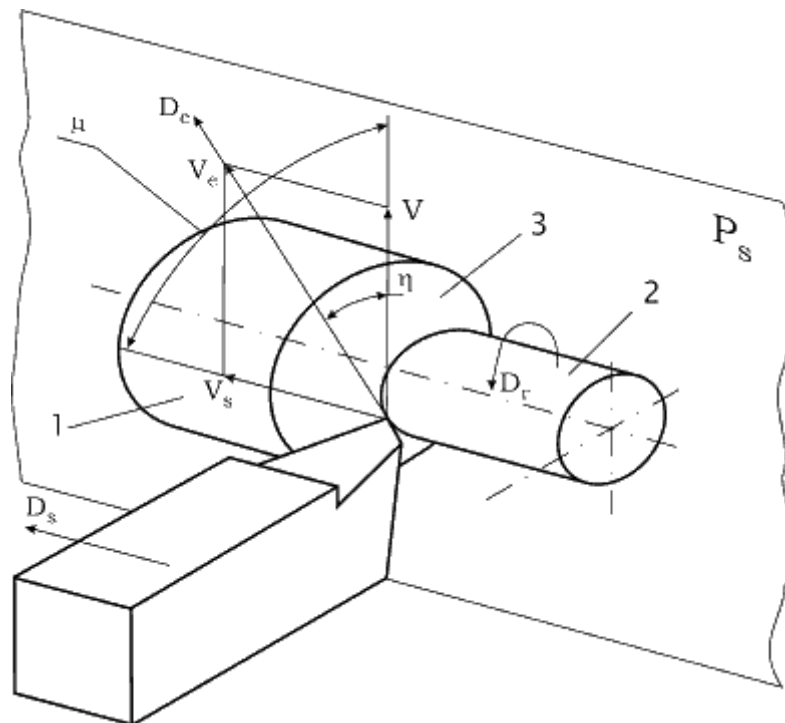
Интенсивность процесса резания определяется напряженностью режима резания. Режим резания характеризуют три параметра:

- глубина резания t (мм);
- подача s (мм/об);
- скорость резания v (мм/мин);

Элементы режима резания: глубина подача и скорость, обозначаются строчными (малыми) буквами латинского алфавита.

Глубиной резания называется толщина слоя обрабатываемого материала, срезаемого за один проход инструмента.

Подачей называется величина перемещения инструмента или обрабатываемого изделия в единицу времени или величина, этого перемещения, отнесенная к величине главного движения.



1 – обрабатываемая поверхность,

2 — обработанная поверхность,

3 – поверхность резания.

Рис.2.1 Поверхности и движения при резании.

P_s – рабочая плоскость, V – вектор скорости резания, V_s – вектор скорости движения подачи, V_e – вектор скорости результирующего движения.

D_r – главное движение, D_s – движение подачи, D_e – результирующее движение.

Скоростью резания называется скорость перемещения поверхности резания относительно режущей кромки инструмента. Скорость резания можно представить как путь, пройденный режущим инструментом в единицу времени в направлении главного движения по поверхности резания.

Величина подачи и глубины резания определяют размер площади поперечного сечения срезаемого слоя (сечения среза):

$$f = t \cdot s, \text{ мм}^2.$$

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и напряженность процесса резания наиболее полно оценивается не величиной площади поперечного сечения среза, а величинами ширины и толщины поперечного сечения срезаемого слоя (см. рис.2.2). Толщиной срезаемого слоя (среза) a называется расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания. Шириной срезаемого слоя b называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Форма поперечного сечения среза зависит от формы режущей кромки инструмента и от расположения ее относительно направления движения подачи. При резании инструментом с прямолинейной режущей кромкой толщина среза a постоянна на всей ширине среза, а при резании инструментом с криволинейной режущей кромкой толщина среза неодинакова в разных точках

по ширине среза. Из рис.2.2 видно, что при постоянных значениях подачи s и глубины резания t ширина среза b и толщина среза a изменяются в зависимости от положения режущей кромки, в зависимости от угла φ между режущей кромкой и направлением подачи.

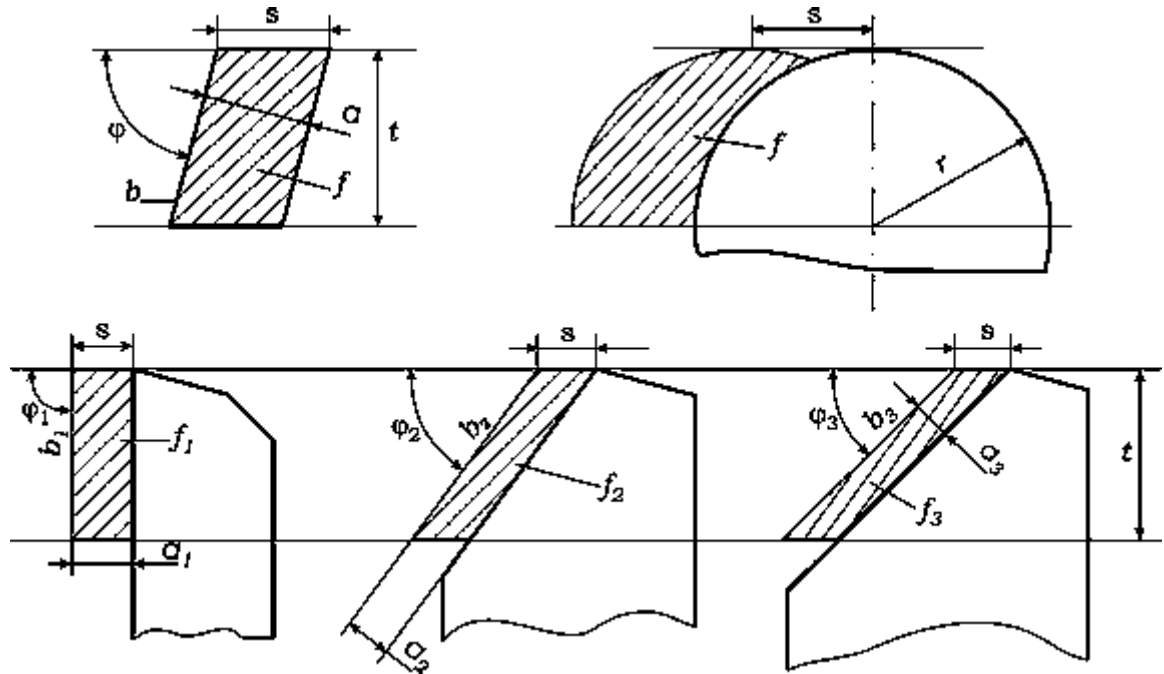


Рис. 2.2. Форма и размеры площади поперечного сечения среза

Здесь видно, что:

$$f_1 = f_2 = f_3 = t. s = a_1. b_1 = a_2. b_2 = a_3. b_3,$$

$$a_1 > a_2 > a_3;$$

$$b_1 < b_2 < b_3;$$

$$a = s \cdot \sin \varphi; b = \frac{t}{\sin \varphi},$$

при

$$\varphi = 90^\circ,$$

поэтому

$$\sin \varphi = 1,$$

$$a = s, b = t.$$

В результате того, что режущий инструмент имеет вспомогательный угол φ_1 не равный нулю, фактическая площадь среза $f_{\text{факт.}}$ меньше номинальной на величину площади среза остающихся на обработанной поверхности гребешков. Величина их Δf несоизмеримо мала по сравнению с номинальной, и для выполнения каких-либо расчетов ею можно пренебречь.

Производительность обработки резанием может характеризоваться объемом металла, срезаемого в единицу времени.

Этот объем, $\text{мм}^3/\text{мин}$, может быть определен как произведение площади поперечного сечения среза и длины пути, пройденного режущим инструментом в единицу времени – скорости резания:

$$Q = t \cdot s \cdot v \cdot 1000, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где: t – глубина резания, мм;

s – подача, мм/об;

v – скорость резания, м/мин;

Кроме того, производительность механической обработки может оцениваться также величиной площади поверхности, обработанной в единицу времени, или по другим показателям.

2. Основные случаи резания

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и образования стружки кроме указанных ранее параметров характеризуется еще и степенью сложности условий, в которых совершается образования стружки. По этому признаку различают два случая резания: свободное и несвободное (осложненное).

1. Свободное резание. Происходит в случае, когда в резании участвует одна прямолинейная режущая кромка. Деформированное состояние срезаемого слоя при этом является плоским. Пример свободного резания указан на рис.3а. В этом случае деформация совершается в плоскостях, параллельных друг другу, и все элементарные объемы срезаемого слоя могут свободно перемещаться в параллельных направлениях.

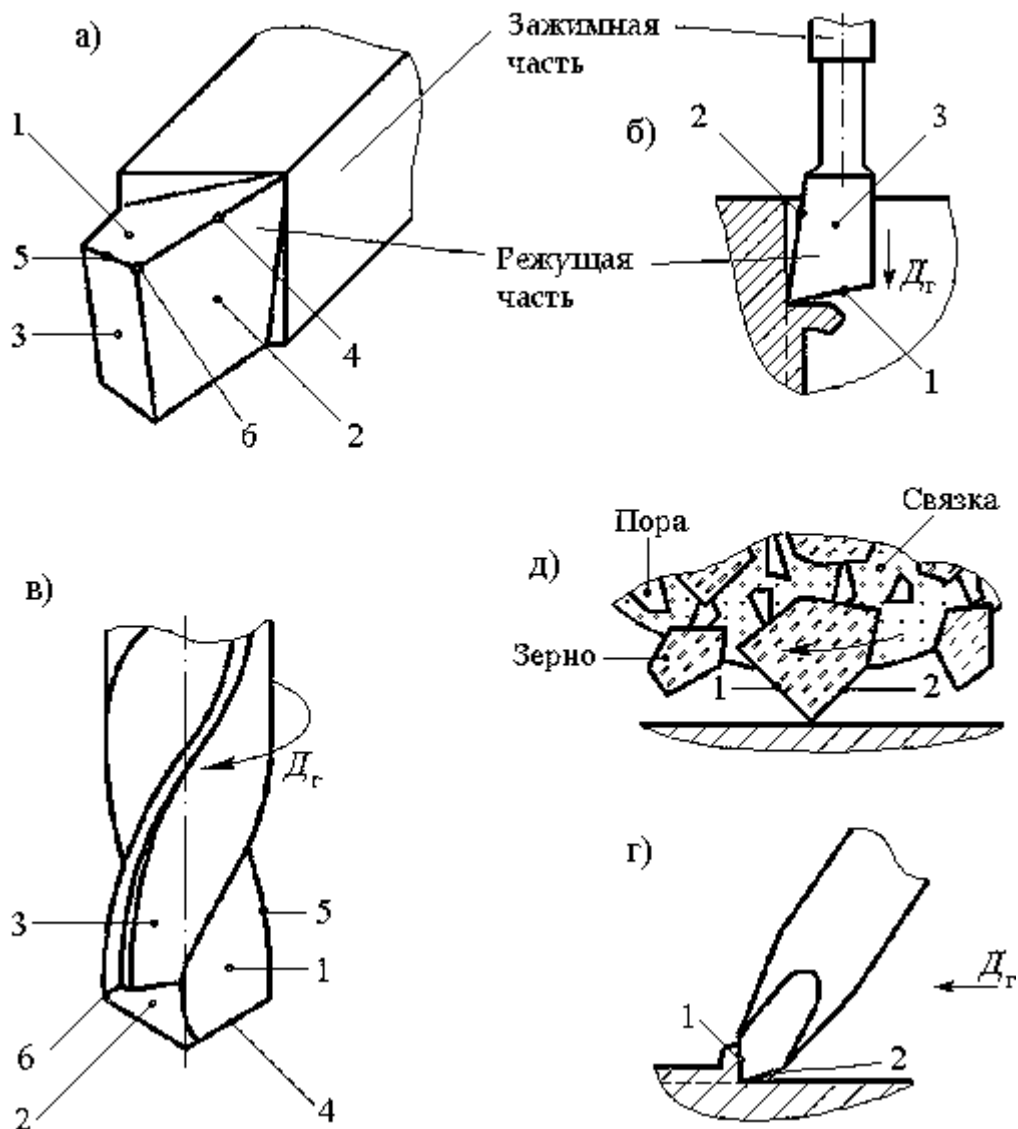
Свободное резание может осуществляться также при строгании прямых гребешков на плоской поверхности призматической заготовки или при точении с поперечной подачей буртика на цилиндрическом образце (заготовке). Длина прямолинейной режущей кромки инструмента в обоих этих случаях должна быть больше ширины гребешков или буртика на ширину перекрытия режущего лезвия. Свободное резание обычно производится при выполнении каких-либо экспериментов в различных исследованиях. Это делается для того, чтобы исключить влияние осложненного деформирования срезаемого слоя на исследуемое явление. Получить хороший корень стружки для изучения, например, пластической деформации срезаемого слоя или образования нароста, можно только при свободном резании, при котором все явления в зоне резания совершаются в семействе параллельных плоскостей, поэтому одинаковы в каждой из них.

3. Режущие инструменты

3.1. Геометрические параметры режущей части инструментов

Отделение срезаемого слоя металла производится режущим лезвием инструмента. Режущая часть инструмента ограничивается рабочими

поверхностями, которые в зависимости от расположения относительно обрабатываемого изделия имеют определенные названия. Разные инструменты имеют различную форму зажимной и режущей частей, однако их режущие части имеют общее устройство и ограничиваются рабочими поверхностями, присущими режущей части любого инструмента. Обычно режущая часть имеет одну переднюю и несколько задних поверхностей.



1 – передняя поверхность, 2 – главная задняя поверхность, 3 – вспомогательная задняя поверхность, 4 – главная режущая кромка, 5 – вспомогательная режущая кромка, 6 – вершина режущего лезвия.

Рис. 3.1. Составные части и рабочие поверхности инструментов.

На рис.3.1. показаны рабочие поверхности и режущие кромки режущих частей: а – токарного резца, б – долбежного резца, в – спирального сверла, г – слесарного зубила, д – зернен абразивного инструмента.

Передней поверхностью (1) называется поверхность, по которой сходит образующаяся в процессе резания стружка.

Главной задней поверхностью (2) называется поверхность, обращенная к поверхности резания.

Вспомогательной задней поверхностью (3) называется поверхность, обращенная к обработанной поверхности.

Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называется главной режущей кромкой (4). Пересечением передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образуется вспомогательная режущая кромка (5).

Точка пересечения главной (4) и вспомогательной (5) режущих кромок называется вершиной (6) режущего лезвия (резца, режущего зуба).

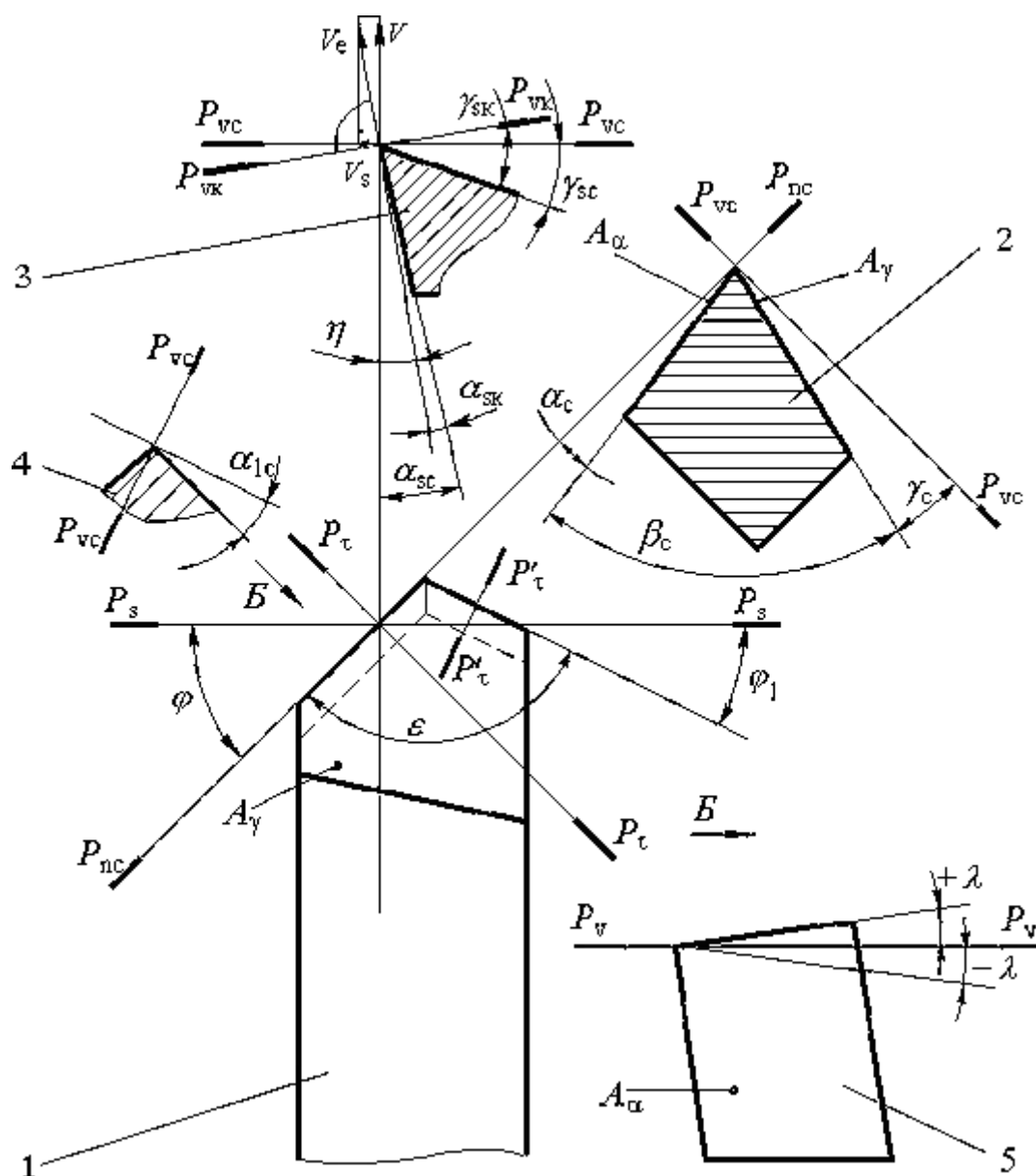
Для обеспечения эффективной работы режущего инструмента поверхности его режущего лезвия должны располагаться определенным образом относительно направления движения резания.

Для рассмотрения геометрических параметров режущей части инструмента устанавливаются системы координатных плоскостей и сами координатные плоскости: плоскость резания и основная плоскость. Для контроля режущего инструмента применяется инструментальная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.

Статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания.

Геометрические параметры (углы) режущего инструмента рассматриваются в этих системах координат. В статической – как геометрические параметры твердого тела – неподвижного предмета, в кинематической – как углы работающего инструмента в процессе резания. На рис.3.2. показаны токарный резец в проекции на основную плоскость 1, сечения его в главной секущей плоскости 2, в рабочей плоскости 3 и вспомогательной секущей плоскости 4, вид резца со стороны главной задней поверхности 5 и следы координатных и секущих плоскостей.



P_{vc} – след основной плоскости, P_{nc} – след плоскости резания, P_s — след рабочей плоскости, P'_τ – след главной секущей плоскости.

Рис. 3.2. Геометрические параметры режущей части резца в статической системе координат.

Основной плоскостью P_v называется координатная плоскость, проходящая перпендикулярно направлению главного движения (вектору скорости резания). Для случая токарной обработки она параллельна продольной и поперечной

подачам и параллельна опорной поверхности (основанию) призматической зажимной части резца.

Плоскостью резания P_n называется координатная плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Плоскость, проходящая через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости и параллельно направлению движения подачи, называется рабочей плоскостью P_s .

Геометрические параметры режущего инструмента рассматриваются в плане, то есть в проекции на основную плоскость, и в секущих плоскостях: главной секущей плоскости, нормальной секущей плоскости, в рабочей плоскости и в других вспомогательных секущих плоскостях.

Нормальной секущей плоскостью P_n называется секущая плоскость, проходящая перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.

Главной секущей плоскостью P_s называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку.

В плане, то есть в проекции на основную плоскость, рассматриваются следующие углы: главный угол в плане Φ , угол при вершине в плане ε , вспомогательный угол в плане φ_1 . Эти углы связаны между собой зависимостью:

$$\Phi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ.$$

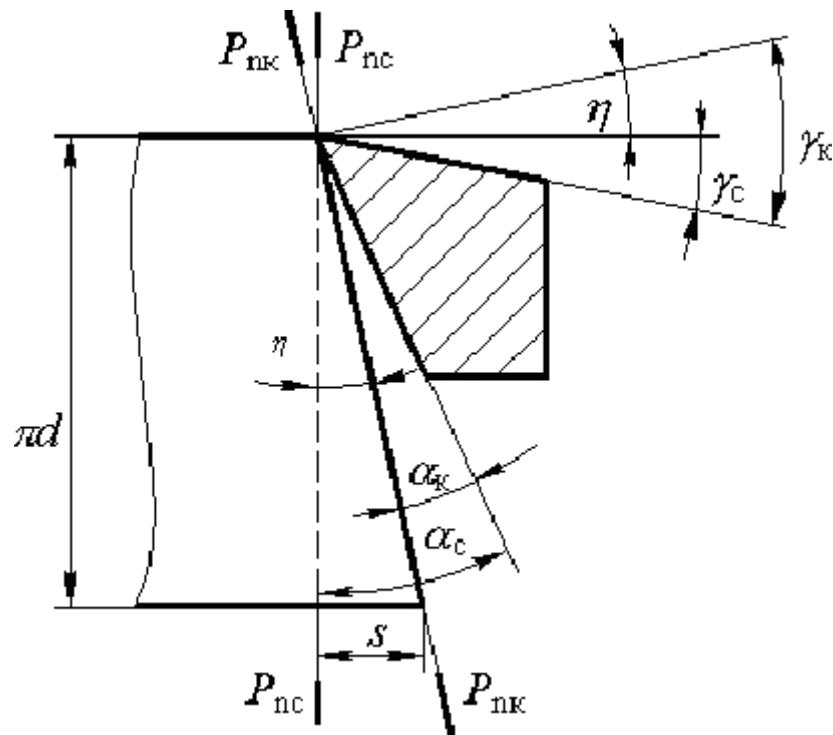


Рис. 3.3. Статические и кинематические углы резца и зависимость их от подачи и диаметра обрабатываемой поверхности

В главной секущей плоскости P_r рассматриваются углы: главный задний α , передний угол γ и угол заострения β . Во вспомогательной секущей плоскости P'_r рассматривается и измеряется только один угол – вспомогательный задний угол α_1 . В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ .

Сумма углов резца в главной секущей плоскости равна 90 градусам:

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ.$$

Кроме рассмотрения углов резца в статической системе координат как углов какого-то геометрического тела (или углов резца в статике) следует рассматривать углы резца в движении, в кинематической системе координат. В результате сложения главного движения с движением подачи при резании изменяется величина углов режущего инструмента, приданных ему при заточке.

Углы в статической системе координат называются статическими углами, углы в кинематической системе координат – кинематическими. Величина кинематических углов отличается от величины статических на величину кинематического угла скорости резания η , угла между векторами скорости резания v и скорости результирующего движения v_e . Из рис.3.2. видно, что при резании задний угол уменьшается, а передний увеличивается на величину угла скорости резания. Величина этого кинематического угла легко определяется из схемы на рис.3.3., где резец условно показан в контакте с разверткой обрабатываемой торцевой поверхности на цилиндрической заготовке. Здесь видно, что:

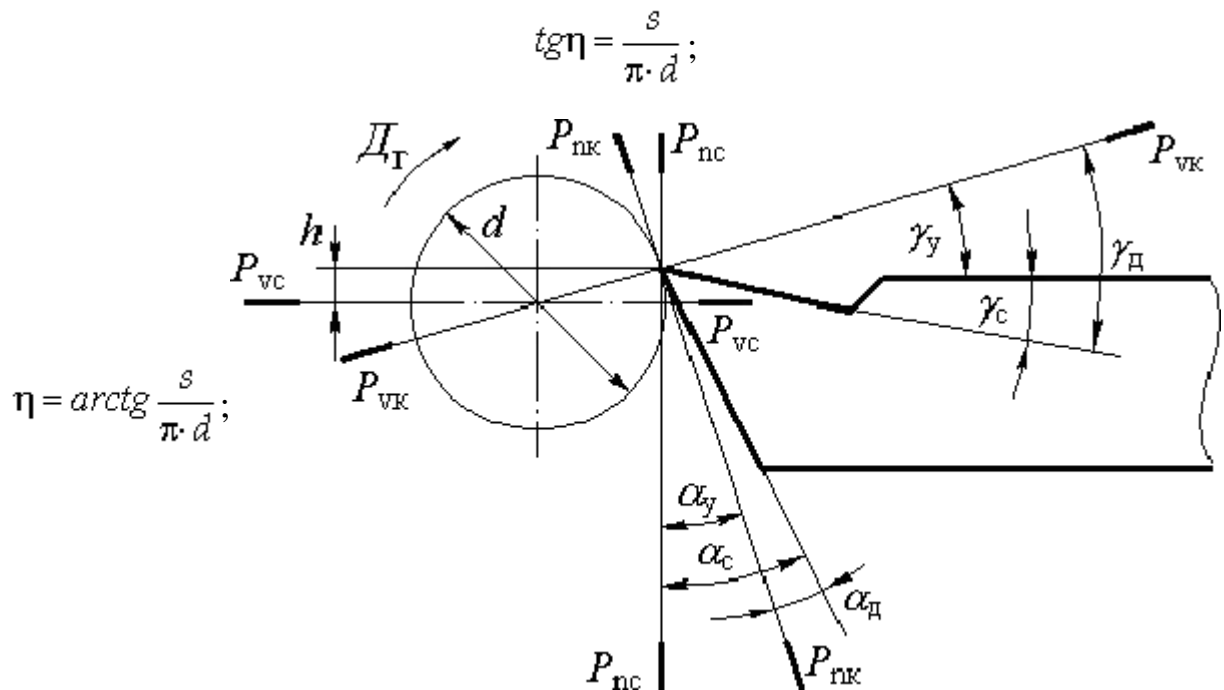


Рис. 3.4. Зависимость величины переднего и заднего углов от установки резца.

$$\alpha_k = \alpha_c - \eta;$$

$$\gamma_k = \gamma_c + \eta,$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; s – величина подачи, мм/об.

Действительная величина углов резца зависит также от установки его относительно оси центров токарного станка. Зависимость эта поясняется схемой на рис. 3.4. Из схемы видно, что действительная величина переднего и заднего углов (α_d и γ_d) изменяется на величину угла установки α_y . Его величина определяется из соотношения

$$\sin \alpha_y = \frac{h}{d/2} = \frac{2h}{d};$$

где d – диаметр обрабатываемой детали, мм; h – высота смещения вершины резца, мм.

Величина угла γ_y равняется величине угла:

$$\gamma_y = \alpha_y;$$

Действительные углы:

$$\alpha_d = \alpha_c \pm \alpha_y,$$

$$\gamma_d = \gamma_c \pm \gamma_y;$$

На представленных выше рисунках показаны упрощенные схемы расчета действительных углов. В обычных, не упрощенных случаях величины углов находятся в более сложной зависимости. Из приведенных данных видно, что изменение углов инструмента при резании тем больше, чем меньше диаметр обрабатываемого изделия и больше подача. При установке резца выше центра задний угол уменьшается, а передний – увеличивается. При установке резца ниже центра увеличивается задний угол и уменьшается передний.

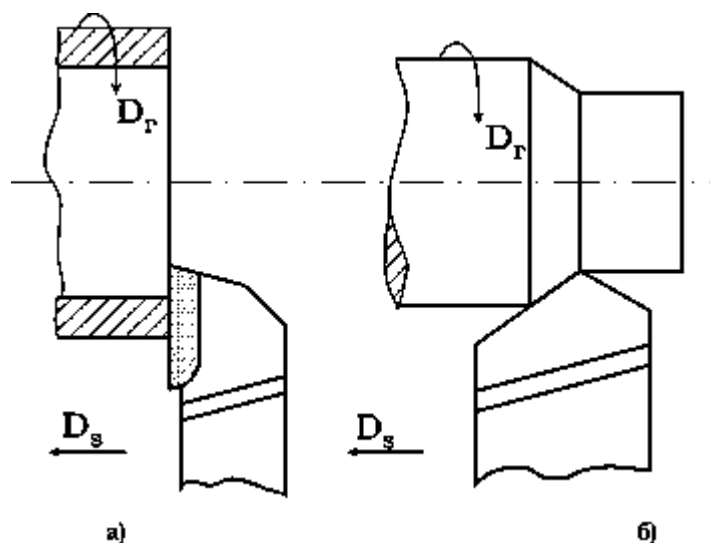


Рис. 2.3. Свободное (а) и несвободное резание (б).

2. Несвободное (осложненное) резание (рис.3б). Характеризуется тем, что отдельные объемы срезаемого слоя на разных участках режущей кромки перемещаются в разных направлениях, что создает условия сложного деформирования и затрудняет образование стружки.

При несвободном резании отдельные элементарные объемы срезаемого слоя перемещаются в разных направлениях и поэтому в разных точках зоны резания одни и те же явления совершаются по-разному, с разной степенью интенсивности. Картина состояния материала в зоне резания в одной секущей плоскости не является типичной для всех других секущих плоскостей и не повторяет картины состояния материала в других секущих плоскостях.

По расположению режущей кромки режущего лезвия относительно направления главного движения (вектора скорости резания) резание может быть прямоугольным или косоугольным. При расположении режущей кромки под прямым углом к направлению главного движения резание называется прямоугольным. Если же режущая кромка расположена к направлению резания не под прямым углом (косо), резание называется косоугольным. При прямоугольном резании стружка завивается в плоскую логарифмическую

спираль, а при косоугольном резании – в винтовую, направление и шаг которой зависят от расположения кромки.

Резание может осуществляться режущими инструментами с одним режущим лезвием или с несколькими. Согласно этому резание может называться однолезвийным или многолезвийным. Оно может быть непрерывным, например, при точении, или прерывистым, как при фрезеровании, и происходить с постоянным или переменным сечением среза.

4. Процесс образования стружки

Состояние материала в зоне резания и виды образующихся стружек

Конкретная задача процесса резания заключается в образовании новой поверхности. Поскольку прочность обрабатываемого материала соизмерима с прочностью материала инструмента, для обеспечения работоспособности инструмента его приходится



Рис. 4.1. Микрофотография корня стружки скалывания, полученного при резании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т.

упрочнять путем увеличения угла заострения до 90° и более. При такой конфигурации инструмента весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации и превращается в стружку, а сам процесс резания по существу становится процессом пластической деформации всего срезаемого слоя припуска на обработку.

В процессе механической обработки в зависимости от свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и величины элементов режима резания могут образовываться различные по своему виду стружки. По внешнему виду и может быть бесчисленное множество, которое подразделяется на три основных вида: стружки скалывания, сливные и стружки надлома.

Посмотрите на рис.4.1., где представлена микрофотография корня стружки скалывания в главной секущей плоскости и на рис.4.2. с микрофотографией корня сливной стружки. Обратите внимание на то, что в стружке скалывания четко видны ее отдельные элементы. В сливной стружке на рис.4.2. отдельные элементы трудно различимы.

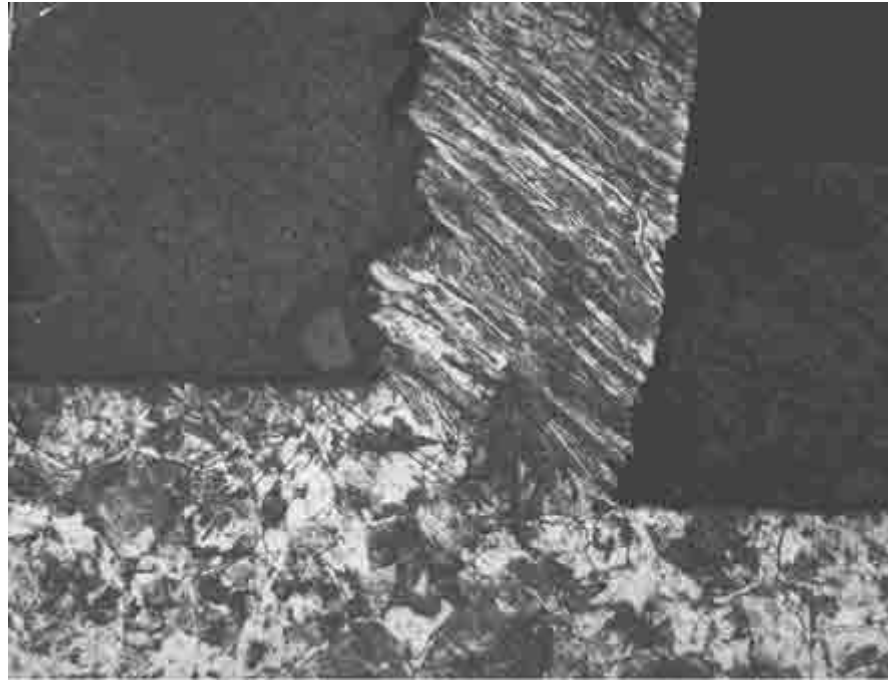


Рис.4.2. Микрофотография корня сливной стружки, полученного при резании стали 40Х.

Вид образующейся стружки зависит от многих факторов, таких как, например, свойства внешней среды, в которой осуществляется резание, величины переднего угла инструмента и других факторов.

При внимательном рассмотрении корня сливной стружки можно увидеть, что отдельные ее элементы, деформированы (вытянуты) в направлении, не совпадающем с положением плоскости скалывания, расположенной под углом β_1 . На рис.4.3. видно, что разрушение срезаемого слоя происходит по плоскости скалывания, а наибольшая пластическая деформация происходит в другом направлении, под углом к этой плоскости, под углом β_2 . Первое

направление под углом β_1 принято называть направлением наибольших напряжений, второе направление под углом β_1 называют направлением наибольших деформаций.

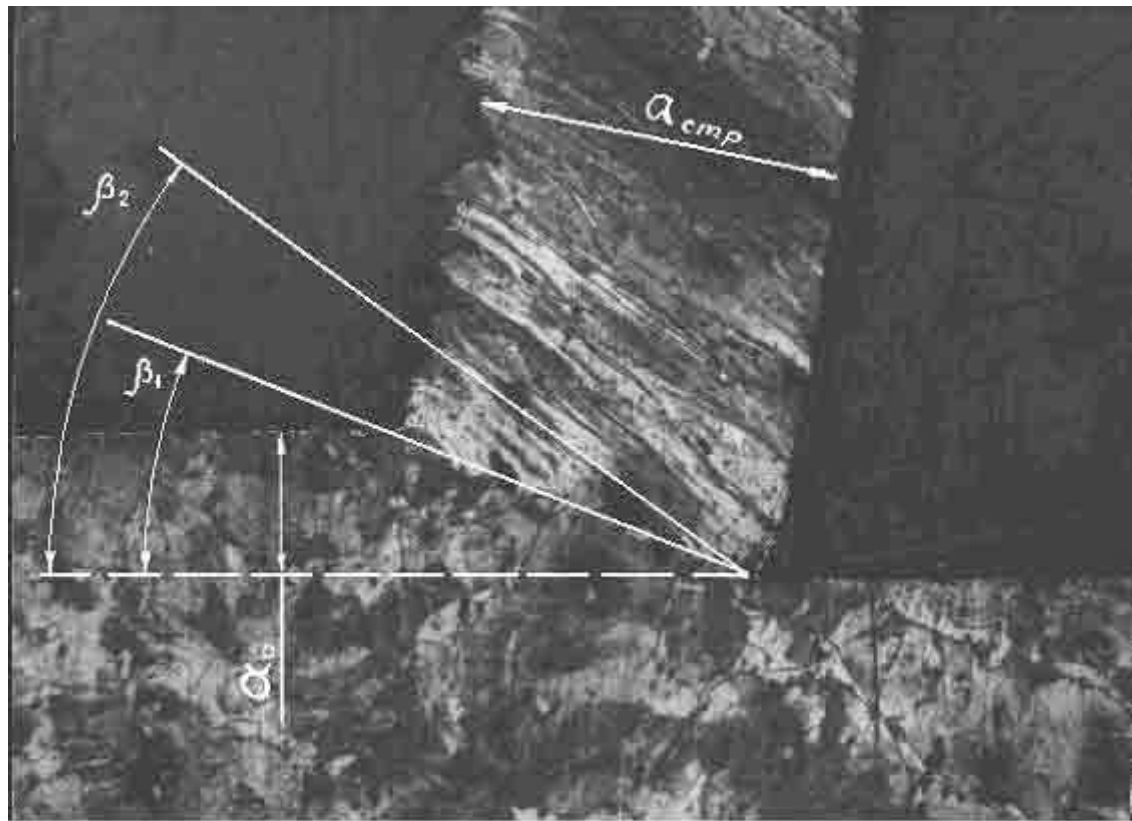


Рис.4.3. Микрофотография корня стружки, полученного при точении стали

45.

На фотографиях корней стружек можно видеть так же, что в прирезцовой части стружки (особенно хорошо видно на рис.4.1.) деформация не имеет строго выраженного направления, прирезцовые слои металла вытянуты в направлении, параллельном передней поверхности инструмента. Такая вторичная деформация срезаемого слоя происходит из-за сильного трения на передней поверхности, в зоне контакта ее с прирезцовой поверхностью уже образовавшейся стружки.

При резании материалов средней пластичности на средних скоростях резания образуются стружки скалывания, при резании мягких пластичных

материалов или тех же, но на больших скоростях резания образуются сливные стружки.

Процесс образования стружек скалывания происходит в описанной ниже последовательности (рис.4.4.).

Под действием силы P резец внедряется в обрабатываемый материал и производит смятие его в каком-то объеме. По мере перемещения резца длина площадки смятия $l_{см}$ увеличивается и на обрабатываемый материал, на его элементарный объем – элемент будущей стружки, действует все большая возрастающая сила. Увеличение этой силы идет до тех пор, пока не произойдет скалывание элемента по плоскости 1–1 под углом β_1 . Эта плоскость называется плоскостью скалывания, а угол β_1 – углом скалывания.

Со стороны резца на элемент стружки действует сила $P_{см}$:

$$P_{см} = \sigma_{см} \cdot f_{см} = \sigma_{см} \cdot l_{см} \cdot b,$$

где $\sigma_{см}$ – предел прочности обрабатываемого материала на смятие,

b – ширина среза,

$l_{см}$ – длина площадки смятия.

Элемент удерживается силой $P_{ск}$:

$$P_{ск} = \tau_{ск} \cdot f_{ск} = \tau_{ск} \cdot l_{ск} \cdot b,$$

$$l_{ск} = \frac{a}{\sin \beta_1},$$

где $\tau_{ск}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг (скалывание),

a – толщина среза.

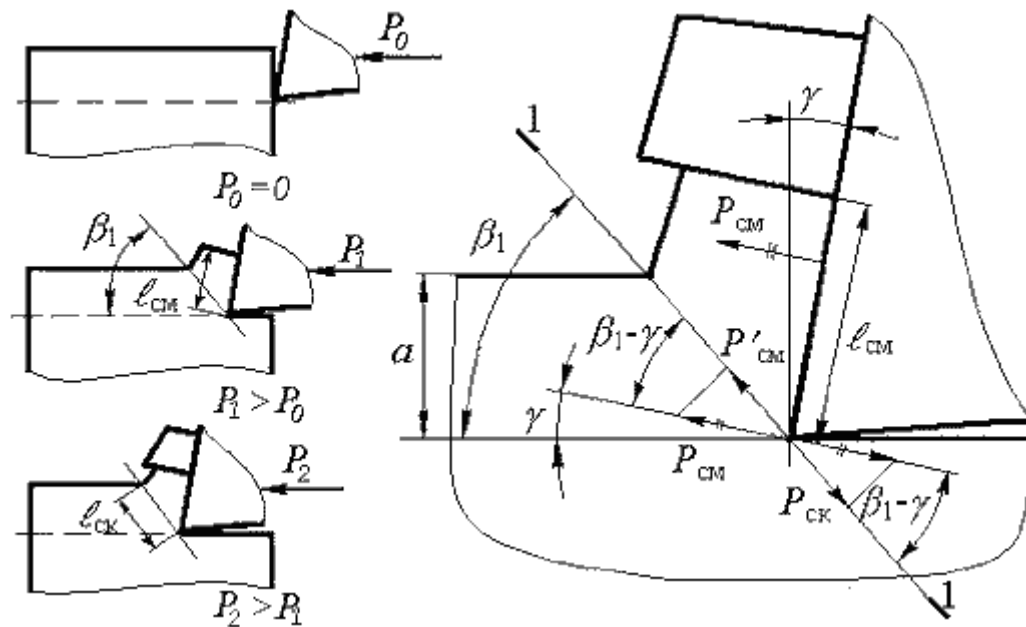


Рис.4.4.Схема образования стружек скалывания.

Для скалывания элемента необходимо, чтобы:

$$P'_{CM} = P_{CM} \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) \geq P_{CK},$$

$$\sigma_{CM} \cdot l_{CM} \cdot b \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) = \tau_{CK} \cdot l_{CK} \cdot b,$$

$$l_{CM} = \frac{\tau_{CK}}{\sigma_{CM}} \cdot \frac{a}{\sin \beta_1} \cdot \frac{1}{\cos(\beta_1 - \gamma)}.$$

Отсюда видно, что размеры скалываемых элементов зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины среза, величины переднего угла и угла скалывания, величина которого сильно зависит от свойств внешней среды, в которой осуществляется резание.

Периодический характер образования стружки вызывает колебания силы резания, что делает процесс резания динамически неустойчивым.

Признаком стружек скалывания является наличие различных на глаз крупных элементов. Скалывание элементов не приводит к разрушению металла, стружка представляет собой прочное тело из крепко соединенных друг с другом элементов.

Сливная стружка представляет собой сплошную ленту, в которой отдельные ее элементы не вооруженным глазом трудно различимы и не просматриваются. В отличие от процесса образования стружек скалывания, в сливных стружках деформация смятия происходит одновременно со сдвигом элементов. Как только произойдет его сдвиг, на плоскости сдвига металл упрочнится и элемент остановится, прекратит свое движение по плоскости скалывания. При остановке он снова сминается движущимся инструментом, площадка смятия у основания элемента увеличивается, сила $P_{см}$ становится больше $P_{ск}$ и элемент вновь сдвигается. И так происходит в течение всего времени образования стружки. Процесс образования стружки здесь не заканчивается в зоне сдвига. При образовании сливных стружек процесс формирования их продолжается в течение всего времени движения по передней поверхности режущего инструмента.

При резании хрупких металлов образуются стружки надлома. Резец, внедряясь в металл, не сдвигает его, а сжимает и вырывает сжатый надломленный элемент. Разрушение идет по поверхности, произвольно охватывающей напряженную зону, поэтому обработанная поверхность получается неровной.

Усадка стружки

В связи с тем, что при механической обработке весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации, форма и размеры срезаемого слоя изменяются. Ширина среза остается неизменной, а толщина стружки увеличивается по сравнению с толщиной среза. Поскольку объем стружки равен объему срезанного слоя, ширина стружки равна ширине среза, а толщина стружки больше толщины среза, естественно, должно произойти уменьшение

длины стружки по сравнению с длиной срезанного слоя. Это явление уменьшения длины стружки по сравнению с длиной поверхности, по которой она срезана, называется усадкой.

Количественно усадка оценивается коэффициентом усадки стружки, который отражает величину пластической деформации, имевшей место при резании. Поэтому при исследовании влияния какого-либо фактора на процесс резания часто прибегают к оценке этого влияния по изменению величины коэффициента усадки стружки.

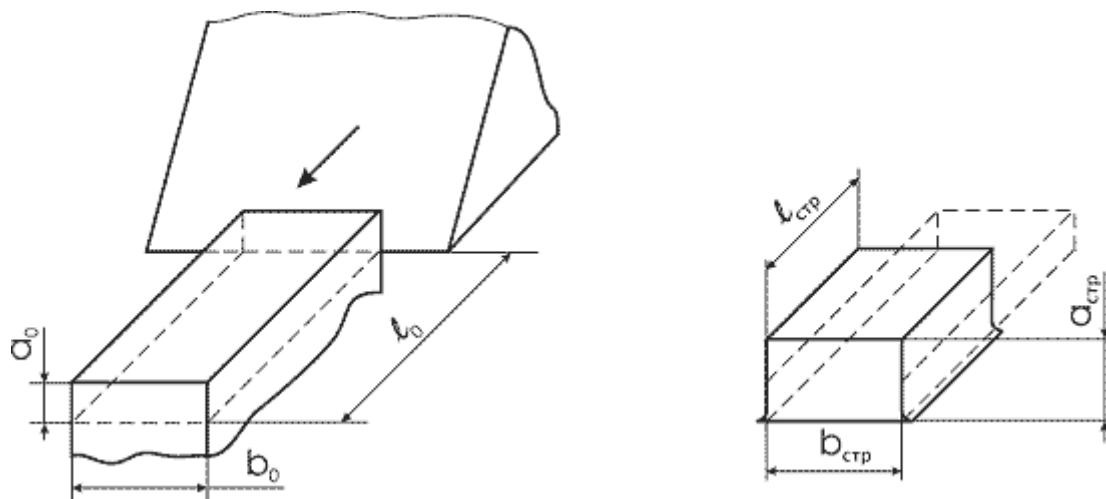


Рис. 4.5. Усадка стружки.

Явление усадки стружки поясняется схемой на рис.4.5. На схеме показано уменьшение длины стружки $l_{\text{стр}}$ по сравнению с длиной среза l_0 . Ширина стружки не изменяется, лишь на прирезцовой ее стороне имеет место уширение тонкого прирезцового слоя. Этим уширением можно пренебречь, поскольку оно не распространяется на всю толщину стружки. Уменьшение длины стружки называется продольной усадкой, увеличение толщины стружки – поперечной усадкой. Соответственно и коэффициенты усадки называются коэффициентами продольной и поперечной усадки стружки. Количественно эти коэффициенты равны между собой.

Поскольку объем стружки равен объему срезаемого слоя, можно записать, что:

$$a_0 \cdot v_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot v_{стр} \cdot l_{стр},$$

$$v_0 = v_{стр},$$

поэтому:

$$a_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot l_{стр},$$

$$\frac{l_0}{l_{стр}} = \frac{a_{стр}}{a_0},$$

но $\frac{l_0}{l_{стр}}$ есть коэффициент продольной усадки $K = \frac{l_0}{l_{стр}}$, а

$\frac{a_{стр}}{a_0}$ — коэффициент поперечной усадки $K_a = \frac{a_{стр}}{a_0}$.

Следовательно:

$$K_l = K_a = K.$$

Величина коэффициента усадки стружки зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего лезвия инструмента, свойств внешней среды, в которой осуществляется резание, и других факторов. Из элементов режима резания менее всего на усадку, величину коэффициента усадки, влияет глубина резания, сильнее – подача и наиболее сильно скорость резания: с увеличением скорости усадка уменьшается. При резании углеродистых сталей коэффициент усадки стружки находится в пределах 2 – 3. При резании трудно обрабатываемых материалов, таких как жаропрочные и титановые сплавы, коррозионостойкие стали и другие, иногда наблюдается «отрицательная» усадка, при которой толщина стружки меньше толщины срезаемого слоя. Пример такой усадки показан на рис.4.6. Здесь видно, что толщина среза a больше средней толщины стружки.

5. Образование нароста и состояние материала под поверхностью резания.

При резании металлов срезаемый слой в результате пластического деформирования приобретает повышенную физическую активность и, будучи плотно прижатым силами нормального давления к передней поверхности режущего инструмента, схватывается (сваривается) с ней.

Схватыванию обрабатываемого материала с материалом инструмента способствуют высокая температура в зоне резания и то обстоятельство, что при резании в контакт вступают вновь образованные ювенильные физико-химически чистые, свободные от каких-либо пленок поверхности. Первоначально на поверхности контакта стружки с передней поверхностью происходят точечные контакты с образованием налипков на передней поверхности. С течением времени число таких наливков растет и они покрывают площадь контакта сплошной тонкой пленкой из обрабатываемого материала, которая называется первослоем. Поскольку этот первослой обладает абсолютным сродством с обрабатываемым материалом, акты схватывания между ними происходят чаще и интенсивнее с образованием более крупных наслоений. Схватывание и наслаивание микрообъемов обрабатываемого металла на переднюю поверхность инструмента приводит к образованию на ней слоя упрочненного микролегированного материала, прочно соединенного с инструментом. Процессы периодического схватывания и последовательного наслаивания упрочненного материала стружки повторяются многократно, в результате на передней поверхности образуется новое довольно крупное тело, называемое наростом. Из представленной на рис.5.1. фотографии хорошо видно ярко выраженное слоистое строение нароста. Форма нароста зависит от свойств обрабатываемого материала, элементов режима резания и других конкретных условий обработки. Нарост состоит из основания и вершины. Вершина является

неустойчивой частью нароста, она, по мере увеличения высоты нароста, разрушается и уносится из зоны стружкообразования, сходящей по ней стружкой (как это видно на рис.5.1) или поверхностью резания обрабатываемой заготовки (см. рис.5.4)

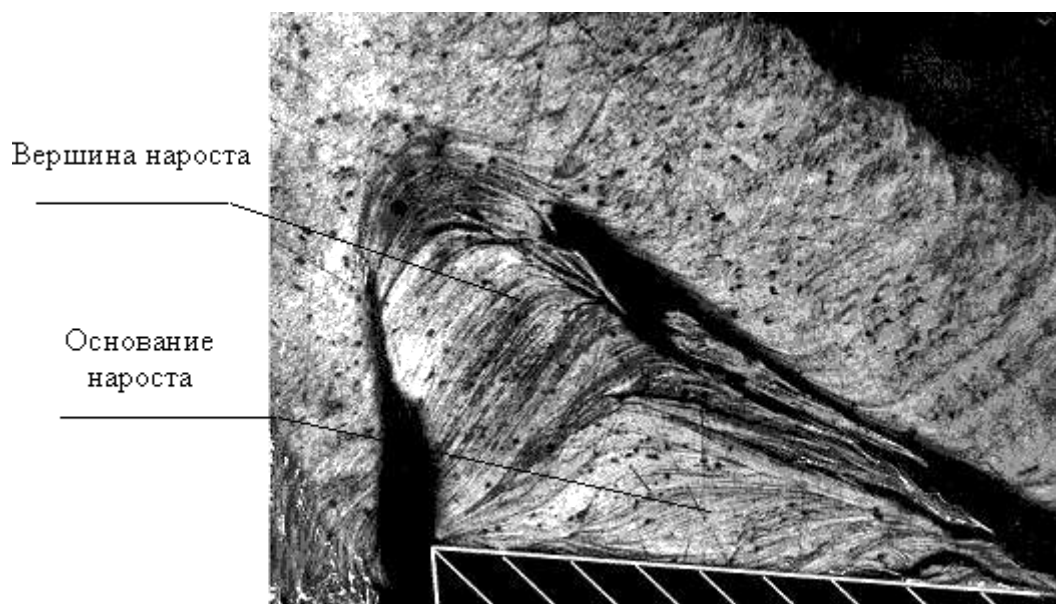


Рис.5.1. Строеие нароста

Из параметров режима резания на интенсивность образования, размеры и форму нароста наиболее сильно влияет скорость резания. На очень малых скоростях резания нарост не удерживается на передней поверхности инструмента, из-за мелко-элементной сыпучей стружки с увеличением скорости интенсивность образования нароста возрастает лишь до какого-то значения скорости, после которого интенсивность его образования и размеры начинают уменьшаться.

На рис.5.2. представлены корни стружки, полученные, при точении стали 45 с разными скоростями резания.

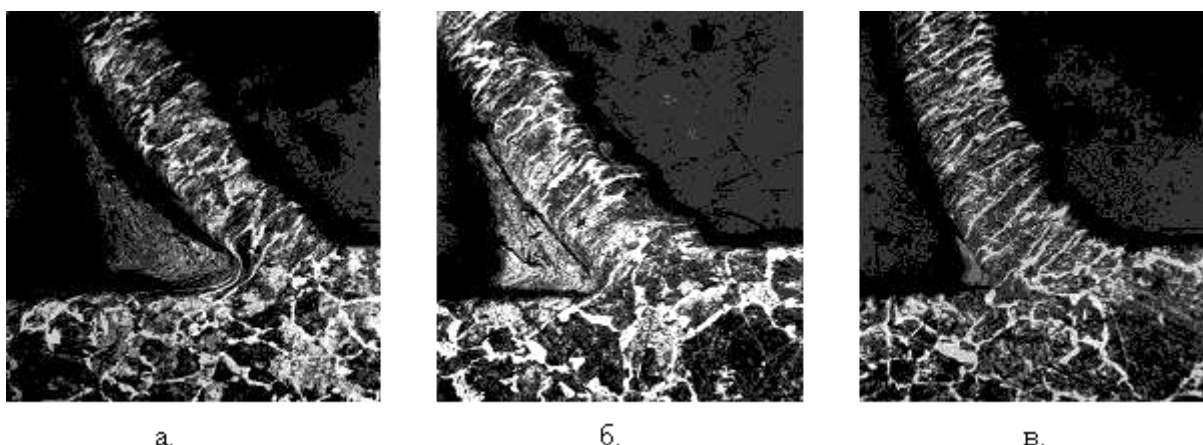


Рис.5.2. Корни стружки с наростом, полученные при точении, стали 45.
Скорость резания: а. — 13, б. — 28 и в. — 55 м/мин.

Здесь видно, что скорость резания сильно влияет на размеры и форму нароста. Нарост наибольшей высоты образуется на скорости 13 м/мин. На скорости 28 м/мин. образуется нарост меньшей высоты и другой формы. На сравнительно большой скорости резания 55м./мин. нароста уже почти нет. Можно предположить, что на такой скорости температура в зоне резания выше температуры «отдыха» обрабатываемого материала, под влиянием которой материал нароста разупрочняется и не может противостоять истирающему действию обрабатываемого материала.

Поскольку нарост образуется из сильно деформированного металла, твердость которого намного больше твердости исходного обрабатываемого, то и нарост в целом имеет высокую твердость, в 2...3 раза превосходящую твердость обрабатываемого материала. Наличие высокой твердости позволяет наросту успешно противостоять воздействию стружки и выполнять работу самого режущего инструмента. Он служит продолжением инструмента и принимает на себя его функции. Химический и микроструктурный анализы нароста показали, что в составе нароста задерживается наиболее сильно упрочняющаяся перлитная структурная составляющая обрабатываемого материала, которая и обеспечивает высокую твердость нароста.

Нарост на режущем инструменте образуется не всегда, а только в тех случаях, когда условия резания благоприятствуют этому. Необходимыми условиями существования нароста являются следующие:

1. Обрабатываемый материал должен обладать способностью упрочняться при пластическом деформировании.
2. Температура в зоне резания должна быть ниже той температуры, при которой происходит разупрочнение материала нароста.
3. Должна образовываться сливная стружка. При образовании стружек скалывания нарост не удерживается на передней поверхности вследствие прерывистости процесса резания.
4. Коэффициент трения в зоне контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью должен быть больше единицы.

Если условия для существования нароста вполне подходящие, нарост образуется и существенно влияет на параметры процесса резания и состояние обработанной поверхности (рис. 5.3). Образование нароста изменяет фактическую геометрию инструмента, передний угол увеличивается и становится больше переднего угла, приданного инструменту при его заточке ($\gamma_{\phi} > \gamma_3$). Процесс резания происходит легче. Поверхность нароста, обращенная к стружке, становится продолжением передней поверхности инструмента. Изменение фактического угла резания вызывает изменение характера процесса образования стружки.

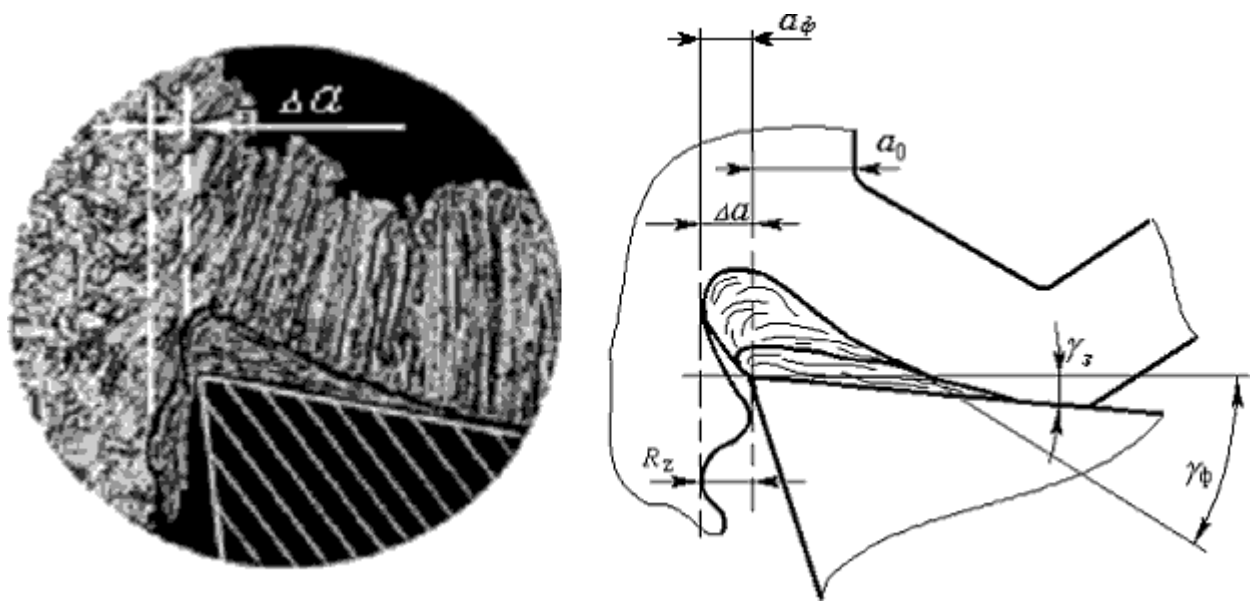


Рис. 5.3. Влияние нароста на величину переднего угла, толщину среза и шероховатость поверхности резания.

В случае свешивания вершины нароста над задней поверхностью инструмента изменяется фактическая толщина среза. Фактически толщина среза $a_{\phi} = a_0 + \Delta a$. Сказанное, иллюстрируется, представленной на рис.5.3. схемой зоны резания с наростом и иллюстрируется представленной на рис.5.4. фотографией нароста, полученного, при резании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. На ней случайно, но очень удачно запечатлен момент разрушения вершины нароста, которая уносится из зоны

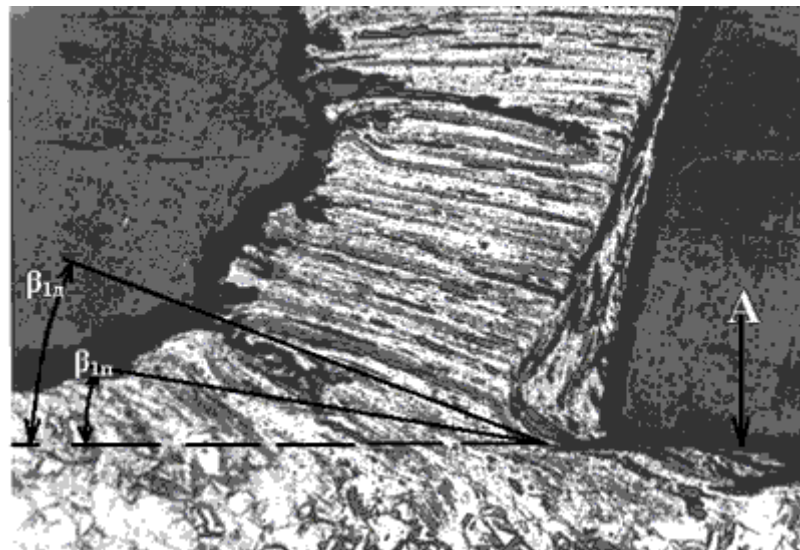


Рис. 5.4. Корень стружки с разрушающимся наростом.

образования стружки с поверхностью резания.

A – часть вершины нароста на поверхности резания,

φ_d – угол скалывания до разрушения нароста,

φ_n – угол скалывания после разрушения нароста.

Здесь надо обратить внимание на изменение положения плоскости скалывания. Вслед за разрушением нароста уменьшается угол скалывания φ и увеличивается толщина образующейся стружки. Нарост представляет собой тело твердое, но неустойчивое, он периодически разрушается, и фактическая толщина среза постоянно меняется вслед за изменением размера нароста. По этой причине обработанная поверхность получается неровной, со следами надиров и вырывов. Располагаясь на передней поверхности и свешиваясь над задней поверхностью, нарост закрывает главную режущую кромку и предохраняет ее от разрушения.

В некоторых случаях нарост бывает настолько устойчив, что в течение всего периода резания исключает контакт стружки с передней поверхностью инструмента. Так на рис.5.5 представлены фотографии быстрорежущего проходного упорного резца с наростом и после его удаления.

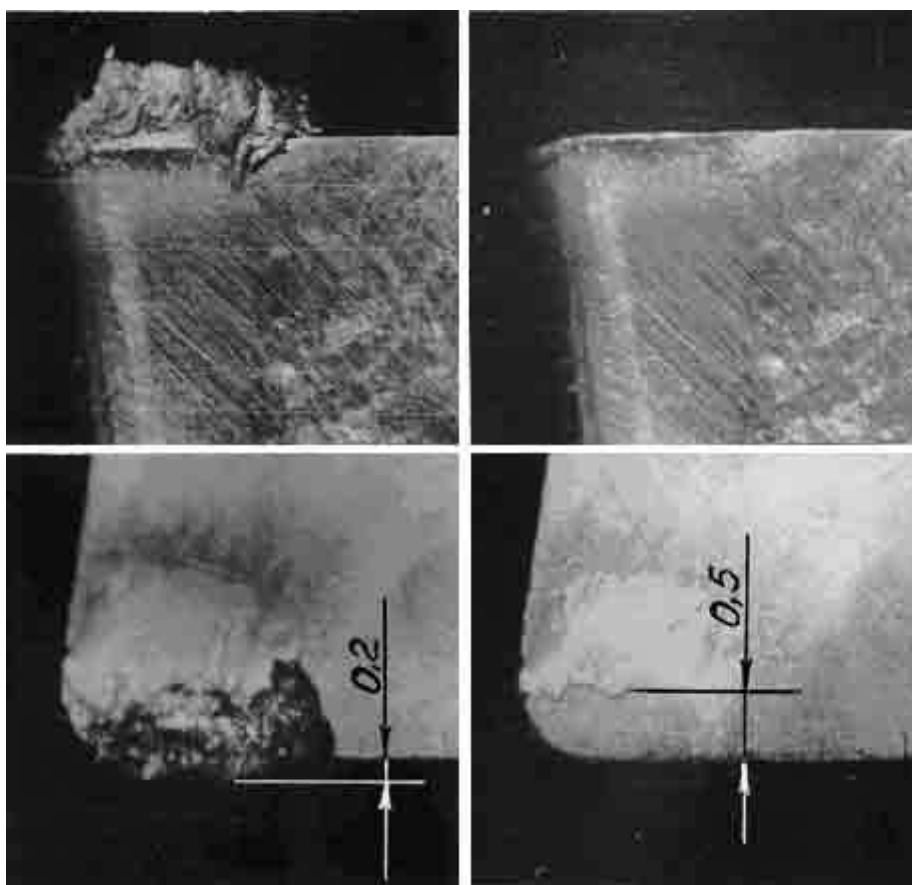


Рис.5.5. Фотографии проходного упорного резца со стороны главной задней поверхности (вверху) и со стороны передней поверхности (внизу), с наростом (слева) и после его удаления (справа).

После удаления нароста на передней поверхности резца «под наростом» обнаружились следы доводки передней поверхности порошком карбида бора.

Эти следы в виде мелких царапин стерты за пределами нароста, свидетельствуют о том, что нарост надежно защищал переднюю поверхность от действия стружки в течении всего времени резания.

Образование нароста, защищающего режущий инструмент от изнашивания, в этом смысле следовало бы признать полезным явлением. Однако, несмотря на это, явление образования нароста следует признать нежелательным, как неуправляемое.

Кроме образования нароста при срезании стружки происходит деформация материала под поверхностью резания. Обрабатываемый материал здесь подвергается упругопластической деформации. Это происходит по двум причинам. Во-первых, потому, что режущее лезвие всегда имеет какое-то округление радиусом ρ (рис. 5.6).

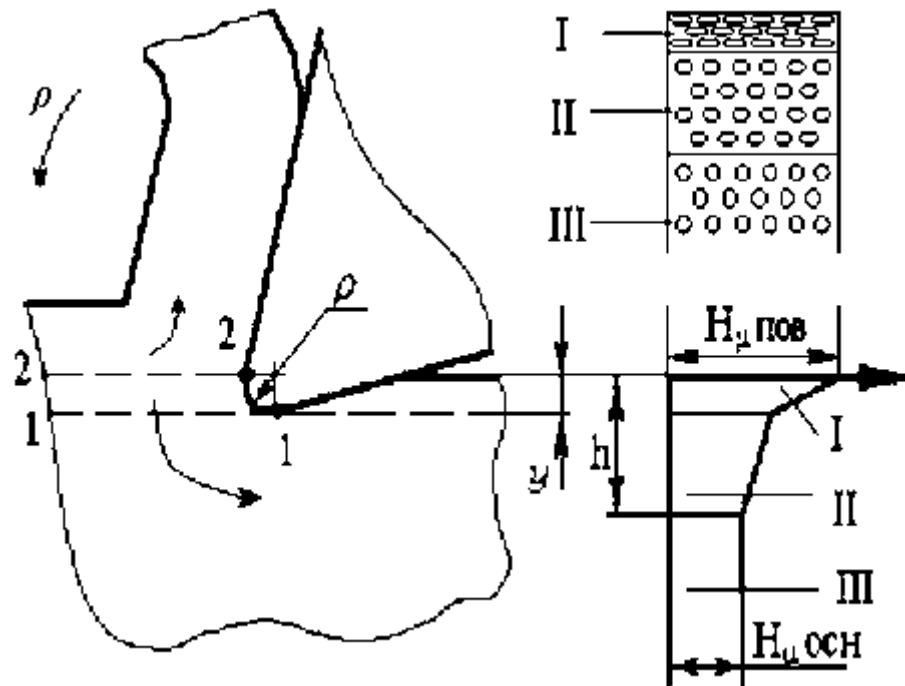


Рис. 5.6. Деформация и упругое последствие в зоне резания

По этой причине разделение металла происходит не по линии 1–1, а по линии 2–2. Металл под линией 2–2 проволакивается под округленной частью режущего лезвия и пластически деформируется. Во-вторых, поскольку пластической деформации предшествует упругая деформация, восстанавливающаяся после прохождения инструмента, имеет место *подъем* поверхности резания на величину упругого последствия « Y ». Прижатый к задней поверхности материал трется об нее и еще раз пластически деформируется.

В силу этих причин материал под поверхностью резания оказывается пластически деформированным, в нем появляются остаточные напряжения, уравнивающиеся внутри объема металла под поверхностью резания.

Верхние слои металла оказываются сильно разрушенными. Анализ состояния металла под поверхностью резания (см. рис.5.6) показывает, что там обнаруживаются 3 зоны: I – зона больших пластических деформаций; II – зона наклепанного металла; III – зона исходного металла. Состояние материала под поверхностью резания в целом оценивается: 1-глубиной проникновения пластической деформации h и степенью упрочнения его поверхностных слоев C . Степенью упрочнения называется отношение твердости упрочненного поверхностного слоя к твердости основного (недеформированного) металла:

$$C = \frac{H_{\text{поверхности}}}{H_{\text{основы}}}.$$

Степень упрочнения и глубина деформации зависят от толщины среза, скорости резания, геометрии режущего инструмента, свойств обрабатываемого материала и других факторов.

6. Силы и работа резания

6.1. Система сил при свободном резании

При механической обработке готовая деталь-изделие требуемой формы и качества обработанных поверхностей получается в результате удаления с заготовки слоя (слоев) припуска в виде стружки, состоящей из пластически деформированного обрабатываемого материала. Пластическое деформирование срезаемого слоя припуска происходит под действием силы, превосходящей

сопротивление обрабатываемого материала его деформации и разрушению. Для выявления физической природы сил, действующих на режущий инструмент со стороны обрабатываемого материала, представленную на рис.6.1. плоскую систему сил, действующих на режущий инструмент при свободном резании. Образующаяся стружка опирается на переднюю поверхность инструмента и действует на него с силой нормального давления N .

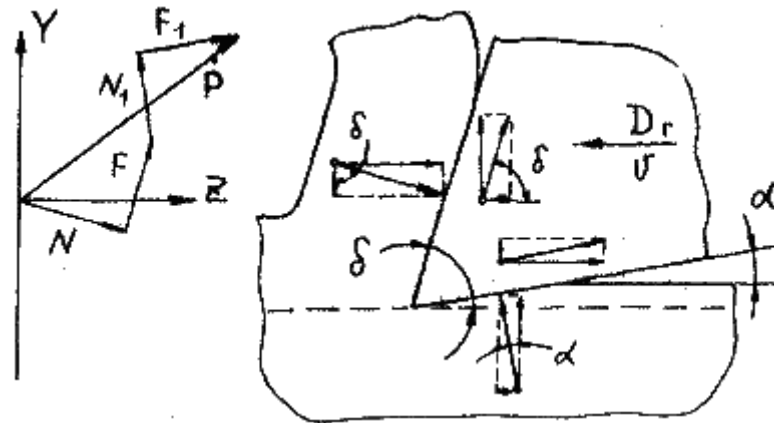


Рис.6.2. Рис.6.1.

Кроме этого стружка перемещается по передней поверхности и действует на нее с силой трения F . Со стороны главной задней поверхности обрабатываемый материал в результате упругого последействия давит на заднюю поверхность с силой нормального давления N_1 . Перемещение поверхности резания относительно задней поверхности инструмента вызывает действие силы трения F_1 . Таким образом, на площадках контакта обрабатываемого материала с режущим инструментом на рабочих поверхностях последнего действуют нормальные и касательные силы, геометрическая сумма которых рис.6.2. дает равнодействующую P , произвольно направленную в пространстве.

В инженерных расчетах используется не сама эта сила, а ее проекции на взаимно перпендикулярные направления: направление Z и направление Y . Каждая проекция называется составляющей силы резания и имеет свое собственное название: проекция на ось Z называется главной составляющей

силы резания, обозначается P_z , проекция на ось Y называется радиальной составляющей силы резания, обозначается P_y .

Пластическая деформация смятия срезаемого припуска происходит под действием силы P_z , равной сумме проекций всех действующих в зоне резания сил на ось Z

$$P_z = N \cdot \sin \delta + F \cdot \cos \delta - N_1 \cdot \sin \alpha + F_1 \cdot \cos \alpha,$$

Здесь: N - нормальная сила на передней поверхности,

F - сила трения на передней поверхности,

N_1 и F_1 - нормальная сила и сила трения на задней поверхности,

δ - главный задний угол,

α - угол резания.

$$\delta = \alpha + \beta$$

или

$$\delta = 90^\circ - \gamma,$$

$$F = f \cdot N, F_1 = f_1 \cdot N_1,$$

где f и f_1 - коэффициенты трения на передней (f) и задней (f_1) поверхностях.

$$P_z = N \cdot \sin \delta + f \cdot N \cdot \cos \delta - N_1 \cdot \sin \alpha + f_1 \cdot N_1 \cdot \cos \alpha,$$

$$P_z = N \cdot (\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - N_1 \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)$$

Если принять, что нормальная сила на задней поверхности пропорциональна силе нормального давления на передней поверхности, что $N_1 = k \cdot N$, где k - коэффициент пропорциональности, тогда: можно записать, что

$$P_z = N \cdot [(\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - k \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)]$$

В этом уравнении силу N можно условно принять равной силе политропического сжатия P при пластическом деформировании образца (рис.6.3), которое протекает согласно закону:

$$P_0 \cdot l_0^m = P^* \cdot l = Const,$$

откуда

$$P = P_0 \frac{l_0^m}{l^m}$$

На рис.6.3:

P — сила, действующая в ходе процесса пластической деформации;

P_0 — сила, необходимая для начала пластического деформирования;

l_0 — длина сжимаемого стержня;

l — длина стержня после пластической деформации.

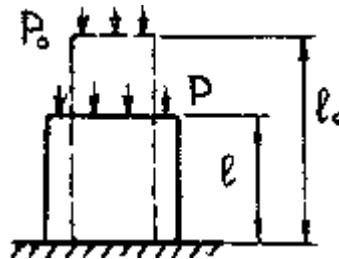


Рис.6.3. Схема процесса политропического сжатия.

Отождествляя процесс резания с процессом пластической деформации срезаемого слоя, считаем, что сжимаемый стержень имеет поперечное сечение $t \cdot s$, срезаемый слой имеет длину l_0 ; силу P отождествляем с силой N , действующей на переднюю поверхность инструмента в процессе резания. После срезания слоя припуска длиной l_0 получается стружка длиной $l (l = l_{\text{стру}})$.

Сила

$$P_0 = \delta_0 \cdot t \cdot s,$$

тогда

$$N = P = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot \left(\frac{l_0}{l_{\text{стру}}} \right)^m$$

отношение $\frac{l_0}{l_{\text{стру}}}$ есть коэффициент усадки стружки K , следовательно

$$N = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot K^m$$

$$P_z = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot K^m \cdot [(\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - k(\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)],$$

где

δ_0 — условный предел текучести,

t - глубина резания,

s - подача,

K - коэффициент усадки стружки,

m - показатель политропы сжатия (по В.Д.Кузнецову $m=1,25$),

k — коэффициент пропорциональности между силами N и N_l .

f и f_1 - коэффициенты трения на передней и задней поверхностях.

Это уравнение показывает лишь от каких параметров и условий зависит величина главной составляющей силы резания. Из него видно, что величина главной составляющей силы резания зависит от свойств обрабатываемого материала (δ_0), сечения среза ($t \times s$), условий и величины пластической деформации (K), геометрии режущего инструмента (δ и α) и коэффициентов трения на передней (f) и задней (f_1) поверхностях.

Система сил при несвободном резании

При несвободном резании на режущий инструмент действует пространственная система сил. Режущий инструмент находится в контакте с обрабатываемым материалом по трем рабочим поверхностям его режущей части: по передней, главной задней и вспомогательной задней поверхности. Поскольку эти поверхности инструмента расположены под разными углами друг к другу, то и действующие на этих поверхностях нормальные и касательные силы в пространстве располагаются не параллельно друг к другу, не в параллельных, как при свободном резании, плоскостях. Природа сил, естественно, та же, что и при свободном резании, это силы нормального давления и касательные силы трения. Равнодействующая всех сил при

несвободном резании раскладывается на три взаимно перпендикулярных направления X, Y , и Z . Схема сил при несвободном резании представлена на рис.6.4.

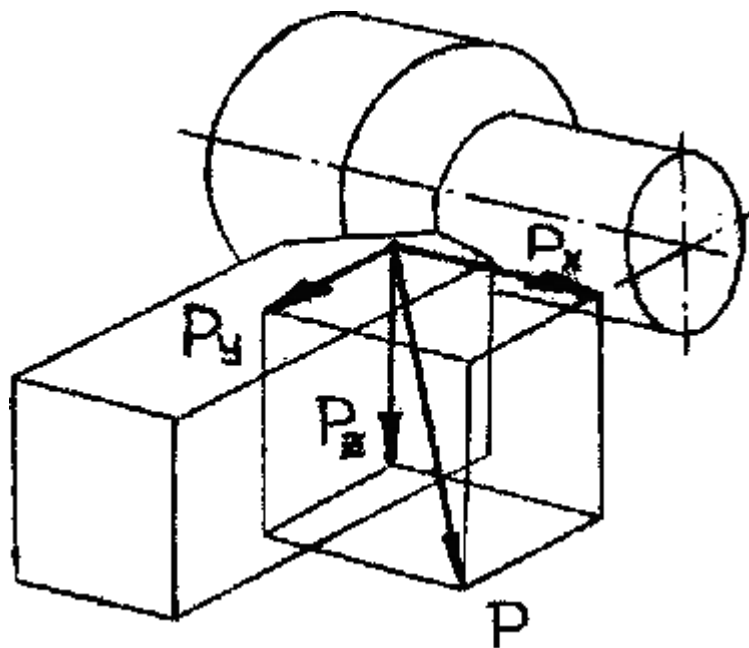


Рис. 6.4. Пространственная система сил при несвободном резании.

Расчет величины составляющих силы резания для практических целей ведется по эмпирическим формулам с использованием данных справочной литературы.

Расчет составляющих силы резания: осевой составляющей P_x , радиальной P_y и главной составляющей силы резания P_z производится по эмпирическим формулам

$$P_x = C P_x \cdot t^{X_{Px}} \cdot s^{Y_{Px}} \cdot v^{Z_{Px}};$$

$$P_y = C P_y \cdot t^{X_{Py}} \cdot s^{Y_{Py}} \cdot v^{Z_{Py}};$$

$$P_z = C P_z \cdot t^{X_{Pz}} \cdot s^{Y_{Pz}} \cdot v^{Z_{Pz}};$$

Здесь: P -проекция (составляющая) силы резания на направления X, Y и Z соответственно, Н;

C_P - константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала, по сути своей представляющая удельную силу резания, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения среза, Н/мм²;

k_P - общий коэффициент, представляющий собой произведение частных коэффициентов, учитывающих конкретные условия резания.

Работа резания

Полная работа резания затрачивается на пластическую деформацию срезаемого слоя припуска, на упругую деформацию, которая всегда предшествует пластической деформации, на преодоление сил трения на передней и задней поверхностях, на образование новой поверхности (она называется работой диспергирования-разделения).

$$A = A_{\text{пл.деф}} + A_{\text{упр.деф}} + A_{\text{трения}} + A_{\text{диспергир.}}$$

Работа диспергирования ($A_{\text{диспергир.}}$) и работа на упругую деформацию составляют менее 1% всей работы и потому ими можно пренебречь, а вся работа резания практически расходуется на пластическую деформацию, на преодоление трения на передней и задней поверхностях.

$$A = A_{\text{пл.деф}} + A_{\text{тр.пер.поф}} + A_{\text{тр.задн.поф.}}$$

Мощность, необходимая для резания на принятом режиме, рассчитывается по формуле

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

Здесь:

N — мощность, кВт;

P_z — главная составляющая силы резания, Н;

v — скорость резания, м/мин.

7. Тепловые явления при резании металлов

7.1. Источники и распределение теплоты в зоне резания

Процесс резания металлов сопровождается значительным тепловыделением в результате того, что механическая работа резания переходит в тепловую энергию. Основными источниками возникновения тепла в зоне резания являются:

1. внутреннее трение между частицами срезаемого слоя в результате его пластической деформации при образовании стружки (Q_1);
2. трение стружки о переднюю поверхность инструмента (Q_2);
3. трение поверхности резания и обработанной поверхности по задним поверхностям инструмента (Q_3).

Схема расположения источников тепла в зоне резания представлена на рис.7.1.

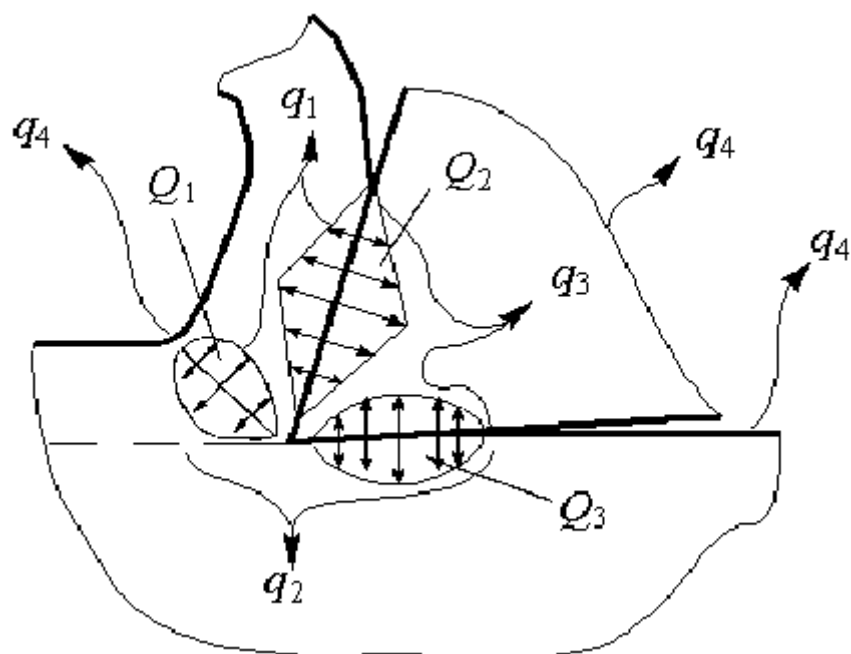


Рис.7.1. Источники тепла в зоне резания.

Наиболее интенсивное выделение тепла происходит в области стружкообразования, прилегающей к плоскости скалывания 1—1 в этой области теплота выделяется в результате двух одновременно протекающих процессов: во-первых, в результате пластической деформации сдвига элементов образующейся стружки по плоскости скалывания; во-вторых, в результате пластической деформации сжатия и частично пластической деформации смятия тонкого слоя металла примыкающего к плоскости скалывания со стороны срезаемого слоя припуска. Этот слой показан на рис.7.2. и выделен штриховкой.

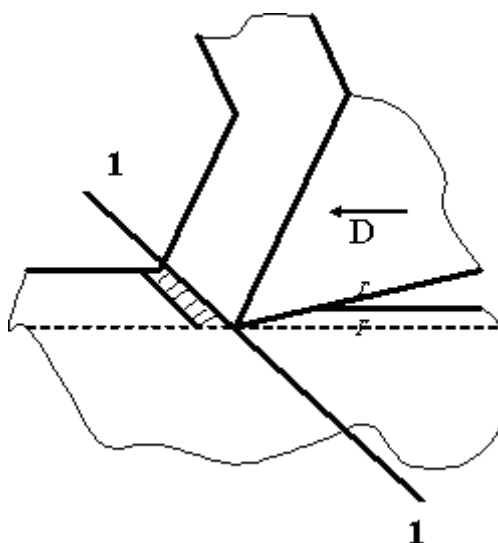


Рис.7.2. Слой упруго-пластической деформации впереди зоны стружкообразования, перед плоскостью скалывания 1-1

Упругая деформация всегда предшествует пластической деформации и потому имеет место и при пластической деформации срезаемого слоя при резании металлов. Пластическая деформация в этом слое обнаруживается путем измерения микротвердости и существует по той же причине, что и деформация материала под поверхностью резания и под обработанной поверхностью. Возможно количество тепла, выделяющегося в результате упругой деформации невелико, но предполагать вероятность этого процесса и учитывать его существование необходимо.

Общее количество выделяющегося при резании тепла равно сумме тепла, выделившегося во всех перечисленных выше источниках:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Тепло, образующееся в процессе резания, не аккумулируется в местах его образования, а распространяется от точек с более высокой температурой к точкам с низкой температурой. Из зоны резания тепло уносится со стружкой (q_1), передается в заготовку (q_2) и инструмент (q_3) и распространяется в

окружающую среду (q_4). Тепловой баланс процесса резания может быть выражен уравнением:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Соотношение количества тепла, отводимого со стружкой в деталь, в инструмент и окружающую среду, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и внешних условий, в которых осуществляется резание.

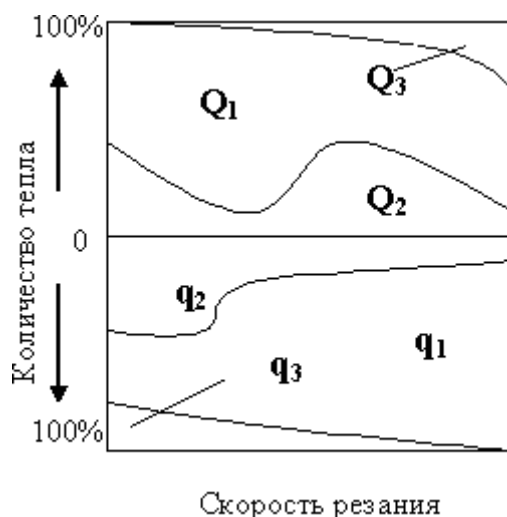


Рис.7.3. Зависимость образования и распределения теплоты, от скорости резания.

В начале обработки температура в зоне резания растет до какого-то определенного значения и устанавливается постоянной, соответствующей стационарному тепловому режиму, при котором выделение тепла равняется отводу его по перечисленным направлениям. Для практических целей наибольший интерес представляет температура рабочей части инструмента и обрабатываемой заготовки. Тепло, переходящее в заготовку, увеличивает ее температуру и вызывает температурное изменение ее размеров и коробление, подчас являющееся причинами брака.

Теплота, переходящая в инструмент, при всей своей относительной незначительности, концентрируясь в малых объемах материала инструмента,

вызывает сильный разогрев его в этих объемах и снижение режущих свойств и изнosoустойчивости инструмента. С увеличением скорости резания доля тепла, переходящего в инструмент, уменьшается, но абсолютное его количество возрастает и температура в зоне резания увеличивается до значений, близких к температуре красностойкости металла инструмента.

7.2 Методы измерения температуры в зоне резания

Существует несколько методов измерения температуры в зоне резания. Калориметрический метод (Рис.7.4) заключается в том, что стружка собирается в калориметре с водой. Зная количество воды в калориметре, вес стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки по разности температуры воды в калориметре до, и после резания.

$$\theta_{стр.} = \theta_{см.} + \frac{G_{воды} \cdot (\theta_{смес} - \theta_{воды})}{G_{стр.} \cdot C_{стр.}}$$

где: $\theta_{стр.}$ - средняя температура стружки,

$\theta_{см.}$ — температура смеси воды и стружки в калориметре,

G - вес воды в калориметре,

$G_{стр.}$ - вес стружки в калориметре.

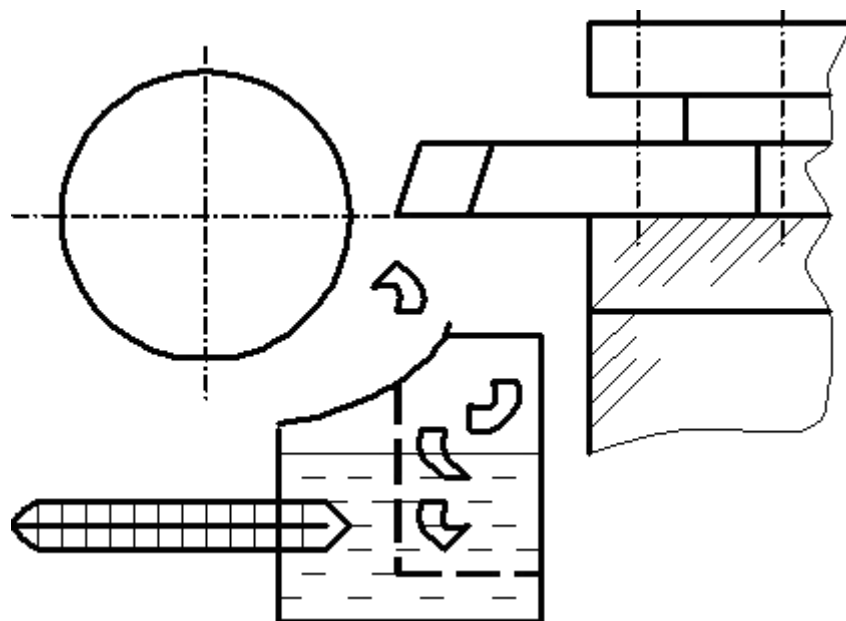


Рис.7.4. Схема измерения температуры калоритмическим методом.

Температуру поверхности инструмента за пределами зоны его контакта с обрабатываемым изделием или стружкой можно определить с помощью термочувствительных красок, которые изменяют свой цвет при нагревании до определенной температуры.

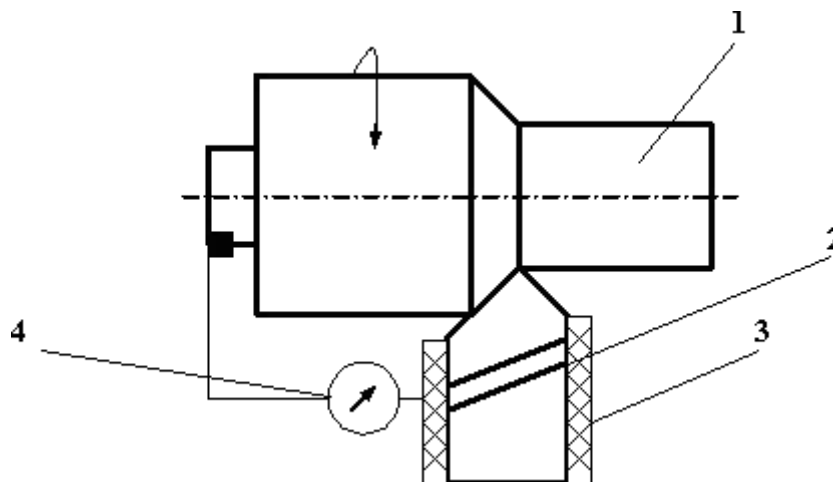


Рис.7.5 Схема измерения температуры в зоне резания методом естественной термопары, где 1- обрабатываемая заготовка, 2- резец, 3-изоляция, 4- милливольтметр.

Метод измерения температуры с помощью термопар является наиболее удобным и более широко применяется в современных исследованиях. Метод измерения естественной термопарой (Рис.7.5) наиболее прост по осуществлению, но для получения абсолютных значений температур требует проведения очень трудоемкой операции градуирования термопары «инструмент — обрабатываемый материал».

Для наблюдения за изменением температуры контактных слоев стружки при перемещении ее по длине контакта может применяться «бегущая термопара». Суть этого метода заключается в том, что в заготовку заделываются термопары, которые при перерезании их режущим лезвием инструмента образуют слой термопары, скользящий (бегущей) по передней и задней поверхностям. Схема метода представлена на рис.7.6.

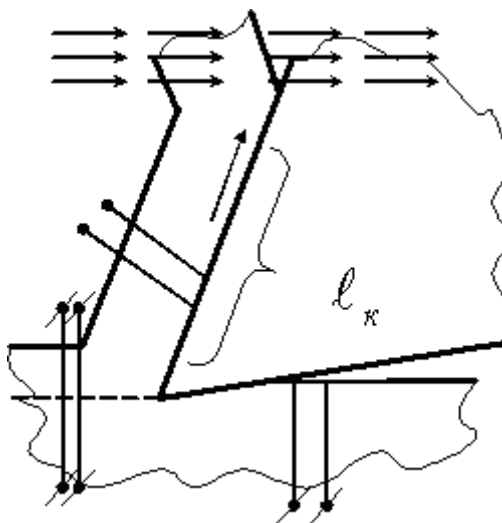


Рис.7.6.Схема измерения температуры на передней и задней поверхностях инструмента методом бегущей термопары.

Разновидностью метода естественной термопары является «метод двух резцов» (рис.7.7), который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов. Этот метод позволяет исключить мучительный процесс градуирования термопары для каждого вида

обрабатываемого материала; термопара градуируется один раз, и полученная градуировочная кривая используется для всех обрабатываемых материалов.

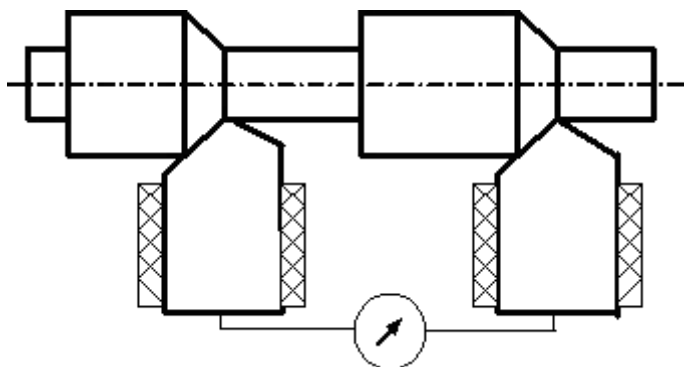


Рис.7.7. Схема измерения термопары методом «двух резцов»

7.3. Температурное поле после резца

Измерениями установлено, что теплота в зоне резания распределяется неравномерно. Наибольшая температура действует на передней поверхности при удалении от главной режущей кромки на $1/3$ длины контакта стружки с передней поверхностью. Совокупность мгновенных значений температуры в различных точках зоны резания называется температурным полем. Температурное поле дает наиболее яркую и полную картину температурной обстановки в зоне резания.

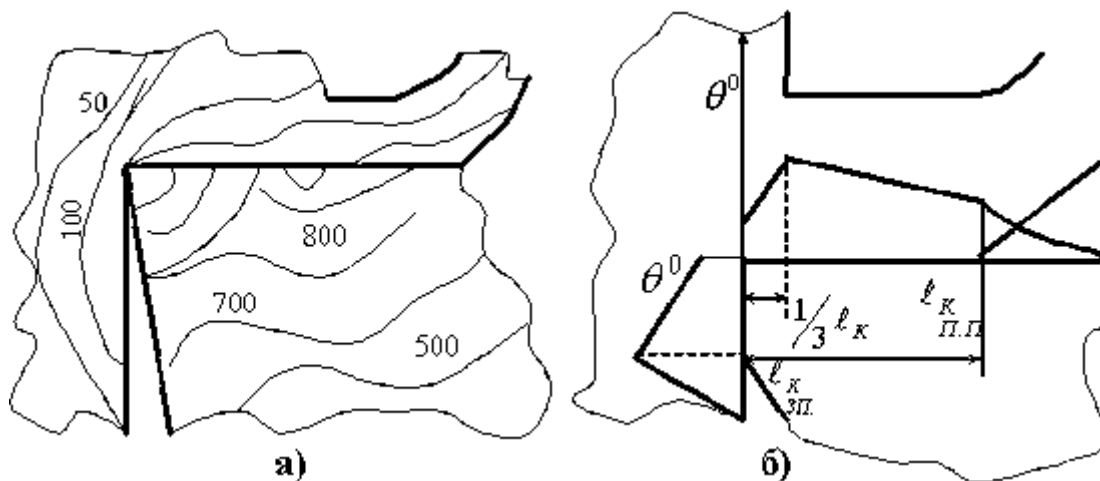


Рис.7.8 Температурное поле (а) и распределение температуры в зоне резания (б).

7.4 Зависимость температуры от элементов режима резания

Многочисленные исследования зависимости температуры от различных факторов показывают, что температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и многих других условий. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет подача, а влияние глубины резания почти не обнаруживается. Из геометрических параметров режущей части инструмента наиболее сильно на температуру резания влияют передний угол, главный угол в плане и радиус закругления при вершине, сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок на вершине режущего лезвия инструмента.

Различными исследованиями предложен ряд аналитических и эмпирических формул для расчета температуры в зоне резания. Аналитические формулы сложны и включают в себя большое число не всегда известных величин. Эмпирические же формулы просты, но справедливы лишь в пределах условий проведения эксперимента. Структура эмпирических формул зависит от числа учтенных факторов, оказывающих какое-либо влияние на величину температуры в зоне резания. Наиболее общими являются формулы вида:

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{m_{\theta}} \cdot s^{n_{\theta}} \cdot v^{p_{\theta}},$$

где: θ — температура в зоне резания, $^{\circ}\text{C}$;

t - глубина резания, мм;

s - подача, $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$;

v - скорость резания, $\frac{м}{мин}$;

C_{θ} - константа, учитывающая условия резания.

$x_{\theta}, y_{\theta}, z_{\theta}$ - показатели степени, показывающие степень влияния каждого элемента режима резания на температуру в зоне резания.

Наиболее часто величина показателей степени для каждого из элементов режима резания находится в пределах:

$$x_{\theta} = 0,1 - 0,2;$$

$$y_{\theta} = 0,2 - 0,25; z_{\theta} = 0,4 - 0,6.$$

Это показывает, что наиболее сильно на температуру в зоне резания влияет скорость резания, слабее влияет подача, а глубина резания не оказывает на нее существенного влияния. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания пропорционально ей увеличивается длина рабочего участка главной режущей кромки, и напряженность процесса резания не изменяется, остается прежней.

8. Основой закон стойкости

Немонотонная зависимость $T-U$ наблюдается при изменении скорости резания в широком диапазоне. Однако, если учесть, что каждый инструментальный материал предназначен для работы в определенном диапазоне скоростей резания, свойственных этому материалу, то можно эту зависимость для ограниченного диапазона скоростей считать и представить монотонной.

Действительно, на скоростях, свойственных резанию быстрорежущим инструментом, твердый сплав не используется, из-за низкой эффективности, а на скоростях порядка сотен метров, свойственных резанию твердосплавным инструментом, быстрорежущие инструменты не применяются из-за

недостаточной температуры красностойкости быстрорежущих сталей. На таких скоростях быстрорежущие инструменты работать не могут.

Таким образом, в ограниченном диапазоне скоростей резания зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания является монотонной, графически выражающейся прямой линией в логарифмических координатах.

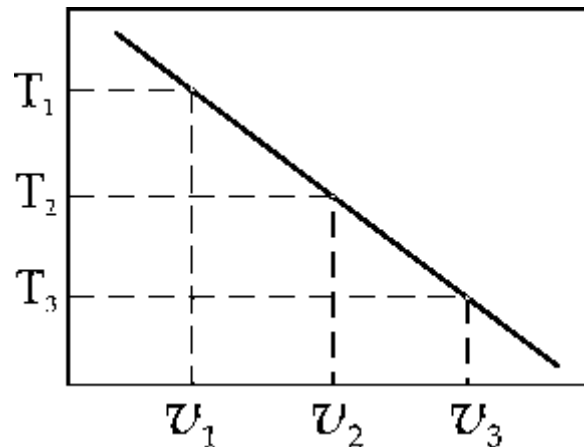


Рис.10.1. Зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания.

Такая зависимость представлена на рис.10.1. Здесь видно, что при принятых значениях скорости резания v_1 , v_2 , v_3 соответствующие им значения стойкости режущего инструмента будут T_1 , T_2 , T_3 . Эта зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания может быть представлена выражением

$$T_1^m \cdot v_1 = T_2^m \cdot v_2 = T_3^m \cdot v_3 = \text{Const},$$

откуда $v = \frac{C}{T^m}$ или $T = \sqrt[m]{\frac{C}{v}}$,

где: v — скорость резания (м/мин), соответствующая стойкости режущего инструмента T ;

T — стойкость режущего инструмента, мин;

C — константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала;

m — показатель относительной стойкости.

Величина показателя относительной стойкости изменяется в узких пределах (\approx от 0,15 до 0,35) в зависимости от свойств инструментального материала и вида обработки.

Представленная выше зависимость

$$v = \frac{C_v}{T^m};$$

называется основным законом стойкости. Эта зависимость является основной частью, а лучше сказать – основой, всех эмпирических формул, по которым производится расчёт скорости резания для всех видов механической обработки металлов резанием. Оптимальной скоростью резания называется скорость, которая обеспечивает максимальную производительность при наименьшей стоимости обработки.

Формулы, по которым производится расчёт этой оптимальной скорости резания для разных видов обработки резанием имеют различный вид, поскольку в них кроме основного закона стойкости входят остальные (кроме скорости резания) элементы режима резания и другие показатели, характерные для данного вида обработки. В качестве примеров ниже приведены формулы для разных видов механической обработки резанием.

Точение:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v;$$

Здесь в формулу введены глубина резания t , подача s и коэффициент K_v , учитывающий конкретные условия резания.

Сверление:
$$v = \frac{C_v \cdot D_{св}^q}{T^m \cdot S_0^y} \cdot K_v;$$

Фрезерование:
$$v = \frac{C_v \cdot D_{ф}^q}{T^m \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v;$$

В формулу для расчета скорости резки при фрезеровании введены диаметр фрезы $D_{фр}$, подача на зуб s_z , ширина фрезерования B и число зубьев фрезы z .

Посмотрите внимательно на эти формулы, и вы увидите, что основой всех этих различных по внешнему виду формул является основной закон стойкости, с него начинается написание всех формул, по которым рассчитываются величина оптимальной скорости резания для всех видов механической обработки, всех видов резания металлов.

9. Виды обработки резанием

Согласно действующему в нашей стране стандарту (ГОСТ 25761—83) все виды механической обработки металлов и материалов резанием подразделяются на лезвийную и абразивную обработку. К лезвийной обработке относятся все виды обработки резанием, которые осуществляются лезвийным инструментом. Абразивная обработка производится абразивными инструментами.

Наша задача рассмотреть основные виды обработки резанием, движения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, геометрические параметры режущего лезвия, порядок расчета оптимального режима резания и основного технологического времени.

Оптимальным режущим режимом резания называется такая совокупность всех его элементов (глубины, подачи и скорости резания), которая обеспечивает наибольшую производительность при наименьшей стоимости обработки.

Выбор, назначение или расчет режима резания ведется поэлементно в порядке влияния каждого из них на стойкость режущего инструмента: сначала назначается глубина резания, затем подача и после этого рассчитывается скорость резания с учетом принятых величин глубины и подачи.

Скорость резания рассчитывается по эмпирическим формулам. Все формулы составлены на основе закона $T - V$ и принципиально одинаковы, но для каждого

вида обработки резанием имеют свой внешний вид и учитывают различное число факторов, наиболее характерных для данного вида обработки. Конкретные условия резания учитываются одним общим коэффициентом K_v , который представляет собой произведение целого ряда частных поправочных коэффициентов. Важнейшими из них являются:

K_M – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

K_H – коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала;

K_P – коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемой поверхности;

Численная величина указанных и других коэффициентов выбирается или рассчитывается по данным справочной литературы.

После расчета режима резания определяется основное технологическое время. Основным технологическим временем называется время, которое затрачивается непосредственно на обработку какой-то поверхности, время — в течение которого режущий инструмент механически перемещается со скоростью подачи.

Точение

Главным движением при точении является вращательное движение детали. Движение подачи придается режущему инструменту. Прямолинейное движение подачи может быть направлено вдоль или поперек оси вращения изделия, соответственно и подача называется продольной или поперечной.

Точение осуществляется на токарных станках. Характерным признаком его является непрерывность резания.

Методом точения можно выполнять следующие виды работ: обтачивание наружных и растачивание внутренних поверхностей, подрезание торцовой

поверхности, фасонное точение фасонным резцом и копировальное точение по копиру.

В качестве режущего инструмента при точении используются резцы, конструкция, размеры и форма которых соответствуют выполняемой операции. Так, например растачивание производится расточными резцами, отрезка прутков или готовых деталей – отрезными и так далее.

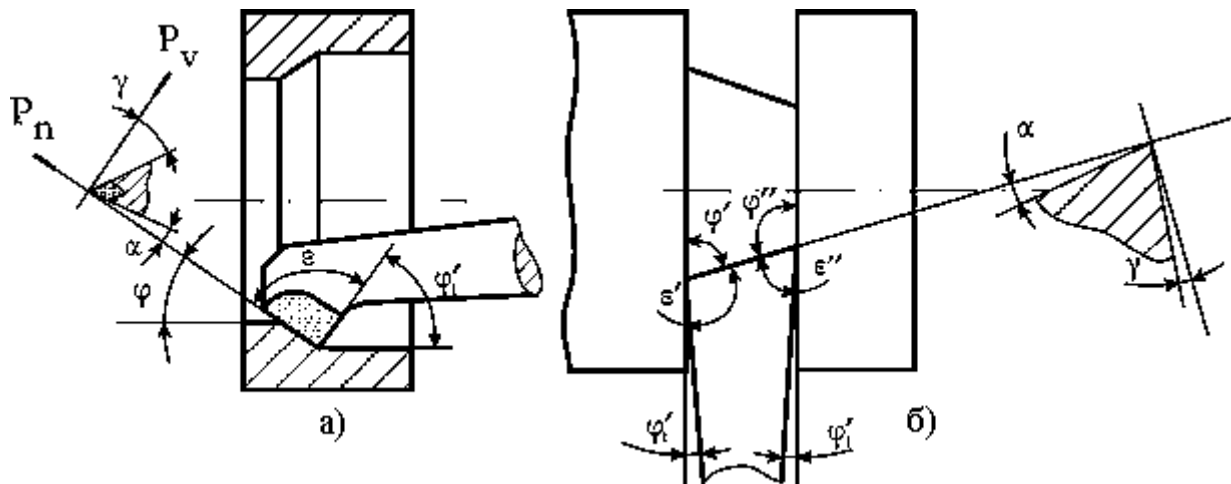


Рис. 13.1 Геометрические параметры а) расточного и б) отрезного резцов.

Независимо от вида резца его режущей части присущи все элементы режущего лезвия, рассмотренные ранее.

Расчет режима резания производится поэлементно в указанной выше последовательности. Глубина резания t назначается максимально возможной по условиям выполняемой операции. При черновой обработке она принимается равной припуску, при получистовой ($R_z = 6 - 3$ мкм): $t = 0,5 - 2,0$ мм; при чистовой ($R_z = 1 - 3$ мкм): $t = 0,1 - 0,5$ мм.

Подача s выбирается по таблицам справочной литературы в зависимости от требуемой чистоты обработанной поверхности, размера обрабатываемой детали и принятой величины глубины резания.

Скорость резания рассчитывается по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot K_M \cdot K_L \cdot K_H}{T^m \cdot t^x \cdot s^y}, \text{ м/мин.}$$

Значение стойкости режущего инструмента T принимается для одноинструментальной обработки 30 – 60 минут, при многоинструментальной обработке и многостаночном обслуживании величина стойкости инструмента корректируется в сторону ее увеличения путем применения коэффициентов изменения стойкости.

После расчета режима резания производится расчет составляющих силы резания по формулам:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^{X_{pz}} \cdot s^{Y_{pz}} \cdot v^{Z_{pz}} \cdot K_p, \text{ Н,}$$

где K_p – общий поправочный коэффициент,

Мощность резания рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

При одновременной работе нескольких инструментов мощность резания рассчитывают как суммарную.

После расчета мощности производится выбор станка, на котором будет выполняться проектируемая операция. Если выбранный станок имеет ступенчатое регулирование скорости главного движения, производится корректировка режима резания по станку.

$$v_p \rightarrow n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \rightarrow n_{ст} \rightarrow v_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ст}}{1000}, \text{ м/мин,}$$

где n_p – расчетная частота вращения шпинделя, $n_{ст}$ – частота вращения шпинделя, принятая по станку, v_d – действительная скорость резания.

При корректировке режима резания частота вращения шпинделя (число его оборотов) принимается, как правило, ближайшей меньшей по сравнению с расчетной. Ближайшее большее число оборотов можно принимать лишь том

случае, если действительная скорость резания увеличивается по сравнению с расчетной не более чем на 3%.

После расчета режима резания проводится расчет основного технологического времени. Основное технологическое время находится путем деления длины пути прохода инструмента на скорость подачи. Общий путь прохода инструмента при точении складывается из длины обрабатываемой поверхности, величины пути врезания резца и величины перебега его.

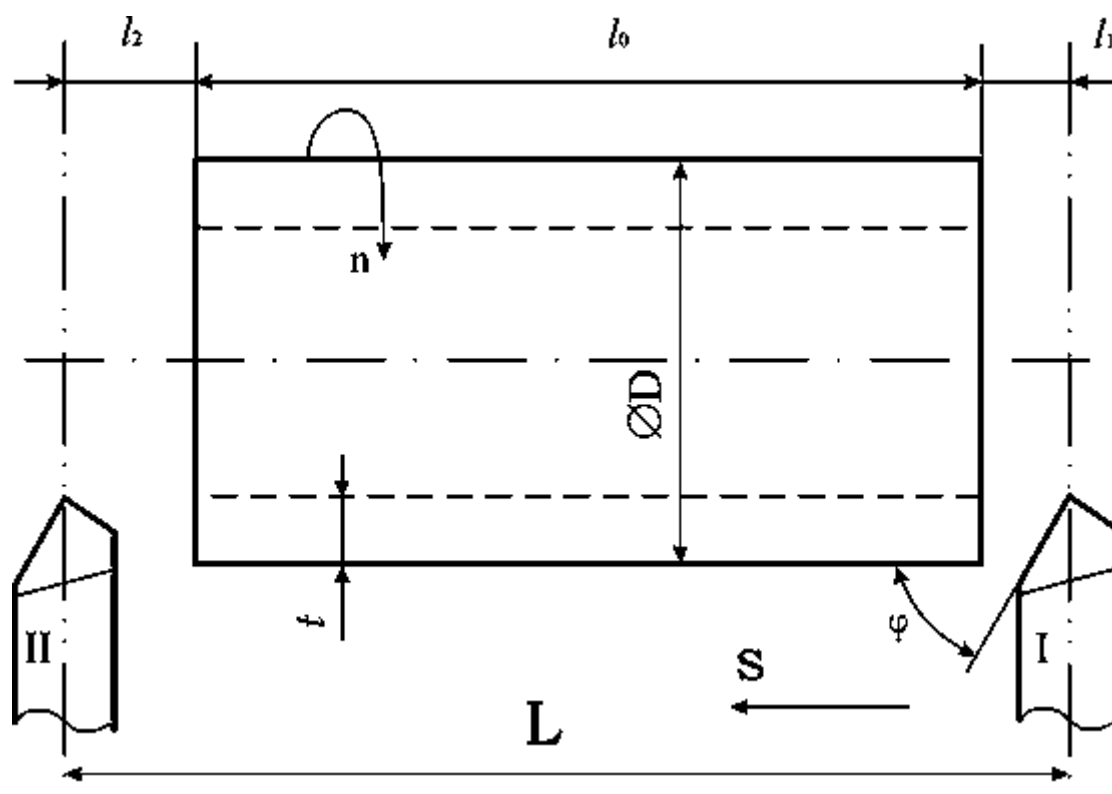


Рис. 13.2 Схема расчета основного технологического времени при точении.

Основное технологическое время t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot s},$$

где: L — длина прохода резца, мм,

n — частота вращения шпинделя, об/мин,

s — подача, мм/об;

$$L = l_0 + l_1 + l_2,$$

l_0 – длина обрабатываемой поверхности,

l_1 – величина врезания, $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$,

l_2 – величина перебега инструмента, назначается в зависимости от размера обрабатываемой детали.

Сверление

В этой теме рассматривается обработка отверстий сверлами, зенкерами и развертками, т.е. сверление, зенкерование и развертывание. Эти виды обработки отверстий применяются в зависимости от требуемой точности размера отверстия и качества обработанной поверхности.

Во всех случаях главным движением является вращательное движение инструмента, а движением подачи – поступательное перемещение его вдоль оси вращения.

Сверлами обычно обрабатываются отверстия в сплошном материале, когда требуется получить отверстия невысокой точности. Более точные отверстия после сверления обрабатываются зенкерами и развертками. В этом случае точность отверстий обеспечивается лучшим центрированием инструмента (благодаря наличию большего числа режущих лезвий), повышенной жесткостью инструмента и более легкими условиями работы каждого лезвия.

Сопоставление условий работы инструментов при сверлении, зенкерование и развертывании может быть представлено таблицей.

Сравнение условия работы осевых инструментов.

Вид обработки	Условие работы инструмента			Шероховатость R_z , мкм	Квалитет точности
	t , мм	φ , °	Z р. лезв.		
Сверление	$n/2$	60	2	100 – 40	11 – 12
Зенкерование	1 – 3	45 – 60	3 – 6	20 – 10	9 – 10
Развертывание	0,05 – 0,2	5 – 15	4 – 12	10 – 3	8 – 7

При сверлении в сплошном материале глубина резания t равна половине диаметра сверла, а при рассверливании – половине разности диаметров до и после сверления.

$$t = \frac{D}{2};$$

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

Подачей при сверлении (зенкеровании и развертывании) является величина осевого перемещения инструмента за время одного его оборота. Поскольку резание одновременно ведётся двумя режущими лезвиями, то каждое из них работает с подачей S_z , равной половине осевого перемещения сверла за время его одного оборота.

Скорость резания при сверлении равна окружной скорости периферийных точек режущих кромок сверла.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

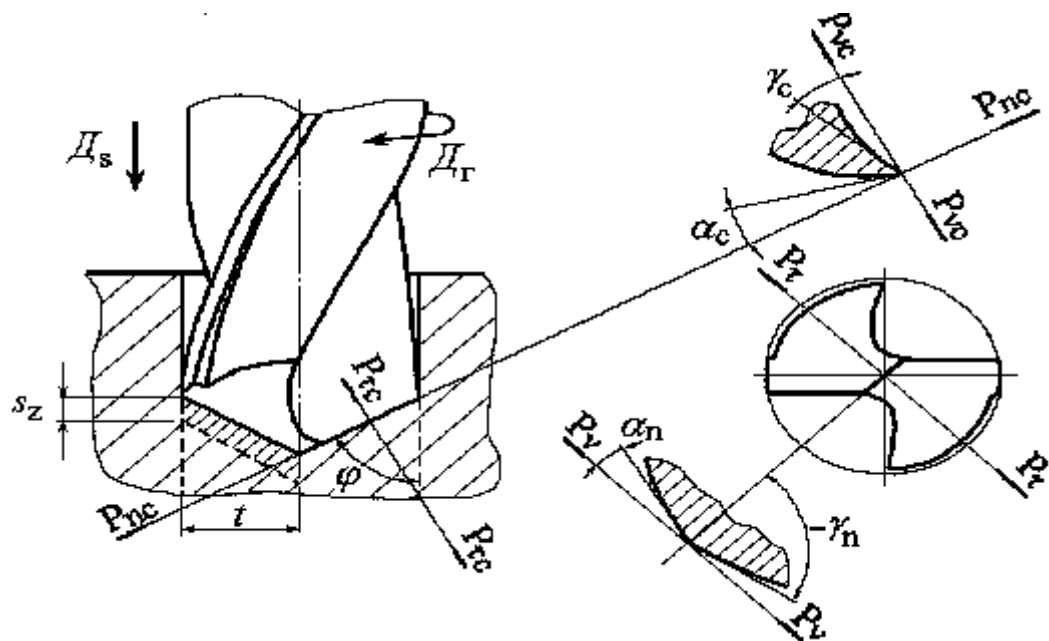


Рис 14.1. Элементы резания при сверлении и геометрические параметры сверла.

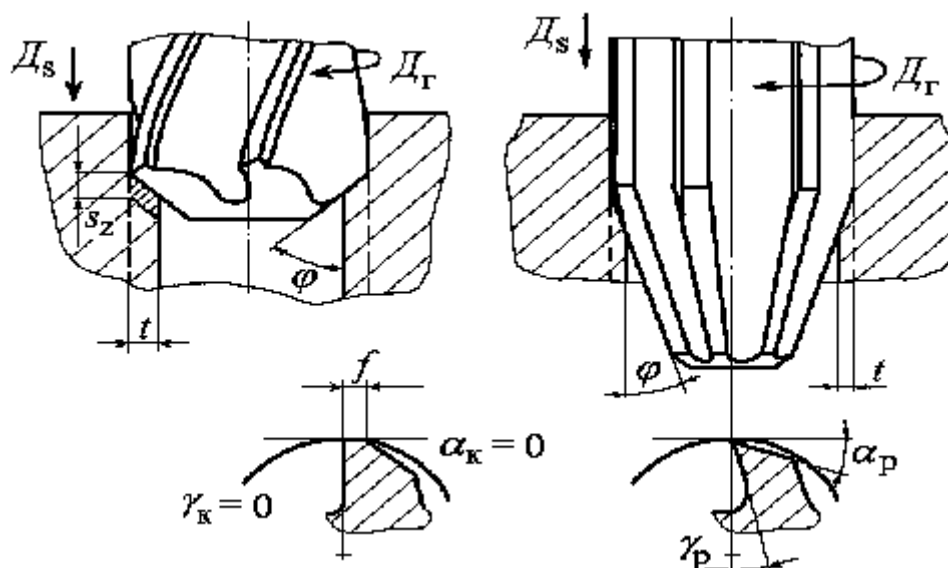


Рис 14.2. Элементы резания: а) - при зенкеровании, б) – развертывании; в) – профиль режущей и г) – калибрующей частей зуба развертки.

В отличие от других процессов резания имеет свои особенности. Они заключаются в том, что резание ведется инструментом, передний угол которого различен в разных точках режущего лезвия. Скорость резания здесь также не постоянна и меняется от 0 в центре сверла до какого-то максимального значения на периферии сверла. В центре отверстия, под перемычкой сверла, резание как таковое отсутствует, производится смятие и выдавливание обрабатываемого материала к периферии под режущие кромки. Особенностью геометрии сверла является наличие пятой поперечной режущей кромки. Ленточка сверла не имеет вспомогательного заднего угла, что вызывает повышенно трение с обработанной поверхностью. Особенностью процесса является также и то, что сверло, окруженное обрабатываемым материалом, работает в стесненных условиях. Это затрудняет отвод стружки и циркуляцию внешней среды, что приводит к худшим условиям охлаждения.

При зенкеровании и развертывании элементы режима резания определяются так же, как при рассверливании. Каждый зуб зенкера или развертки работает с подачей, равной доле осевой подачи. Поскольку зенкеры и развертки имеют

главные углы в плане меньше, чем у сверла, толщина среза меньше, чем при сверлении.

$$s_z = \frac{S_0}{Z},$$

$$a = \frac{S_0}{Z} \cdot \sin \varphi;$$

При расчете режима резания глубина резания назначается в указанных выше пределах. Подача выбирается по справочным таблицам с учетом глубины сверления, характера последующей обработки, жесткости системы СПИД и свойств инструментального материала. Скорость резания рассчитывается при сверлении:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v;$$

при зенкеровании, рассверливании и развертывании:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} \cdot K_v,$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{zv} \cdot K_{sv}.$$

Крутящий момент рассчитывается как произведение силы резания P_z половины размера диаметра инструмента:

$$M_{kp} = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot s_x^y \cdot D \cdot z}{2 \cdot 1000}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

а эффективная мощность резания, определяется по формуле:

$$N_e = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750}, \text{ кВт}.$$

Основное технологическое время рассчитывается с учетом врезания и перебега:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot S_0},$$

$$L = l_1 + l_0 + l_2, \text{ мин.}$$

Для сверления: $L = l_o + 0,3D$;

для зенкерования: $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$; $l_2 = 1 - 4$, мм.

для развертывания: $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$; $l_2 = 0,5l_k$;

где l_k – длина калибрующей части развертки, l_o – длина обрабатываемого отверстия, D – диаметр сверла.

Фрезерование

Фрезерование является распространенным видом механической обработки. Фрезерованием в большинстве случаев обрабатываются плоские или фасонные линейчатые поверхности. Фрезерование ведется многолезвийными инструментами – фрезами. Фреза представляет собой тело вращения, у которого режущие зубья расположены на цилиндрической или на торцовой поверхности. В зависимости от этого фрезы соответственно называются цилиндрическими или торцовыми, а само выполняемое ими фрезерование – цилиндрическим или торцовым. Главное движение придается фрезе, движение подачи обычно придается обрабатываемой детали, но может придаваться и инструменту – фрезе. Чаще всего оно является поступательным, но может быть вращательным или сложным.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины.

Фрезерование может производиться двумя способами: против подачи и

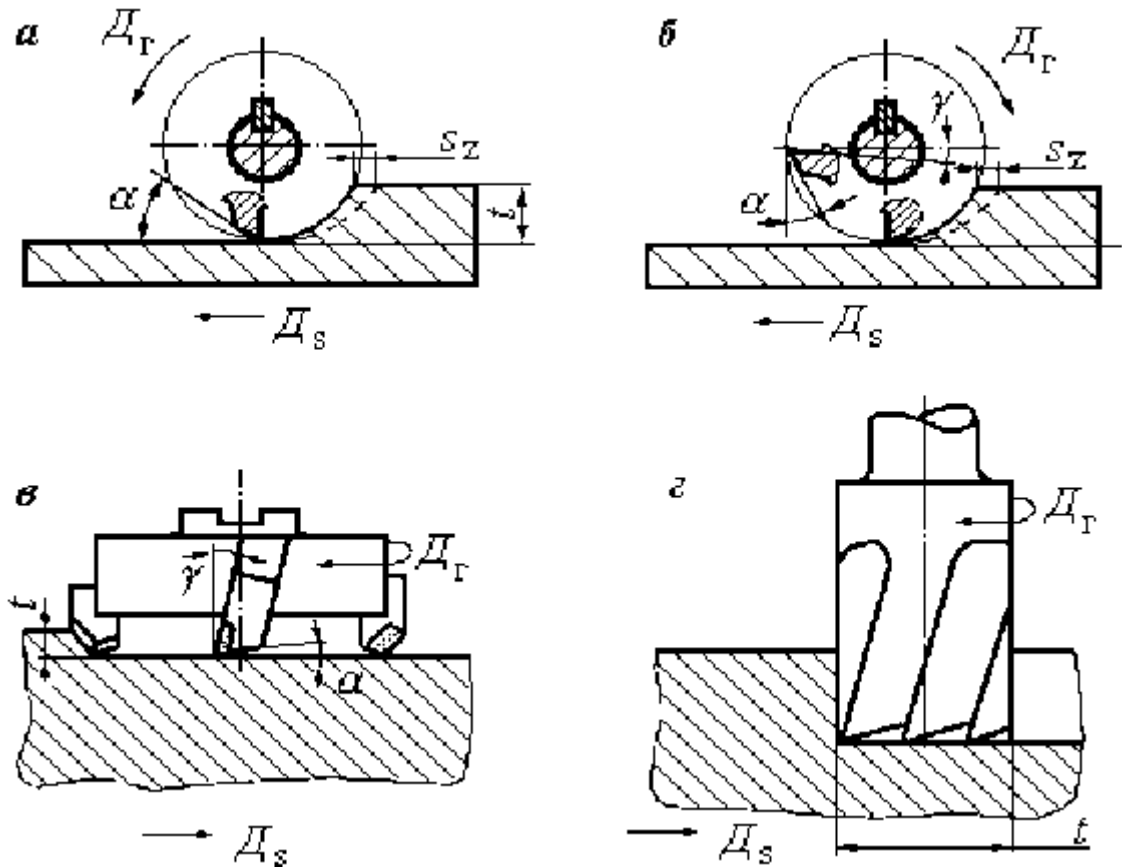


Рис.15.1. Виды фрезерования: а) – против подачи, б) – по подаче, в) – торцовой фрезой, г) – концевой фрезой.

по подаче (рис.15.1.). Первое фрезерование называется встречным, а второе – попутным. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Встречное фрезерование является основным. Попутное фрезерование целесообразно вести лишь при обработке заготовок без корки и при обработке материалов, склонных к сильному обработочному упрочнению, так как при фрезеровании против подачи зуб фрезы, врезаясь в материал, довольно значительный путь проходит по сильно наклепанному слою. Износ фрез в этом случае протекает излишне интенсивно.

При работе торцовыми или концевыми фрезами различают симметричное и несимметричное резание. При симметричном резании ось фрезы совпадает с

плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

Основными элементами режима резания при фрезеровании являются глубина резания, подача, скорость резания и ширина фрезерования.

Глубиной резания t является толщина слоя металла, срезаемого за один проход. При цилиндрическом фрезеровании она соответствует длине дуги контакта фрезы с обрабатываемым изделием и измеряется в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы, при торцовом – в параллельном.

Под шириной фрезерования B следует понимать ширину обрабатываемой поверхности, измеренную в направлении, параллельном оси вращения цилиндрической или концевой фрезы, а при фрезеровании торцовой фрезой – в перпендикулярном.

Скоростью резания v является окружная скорость режущих лезвий фрезы

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ст}}}{1000}, \text{ об/мин},$$

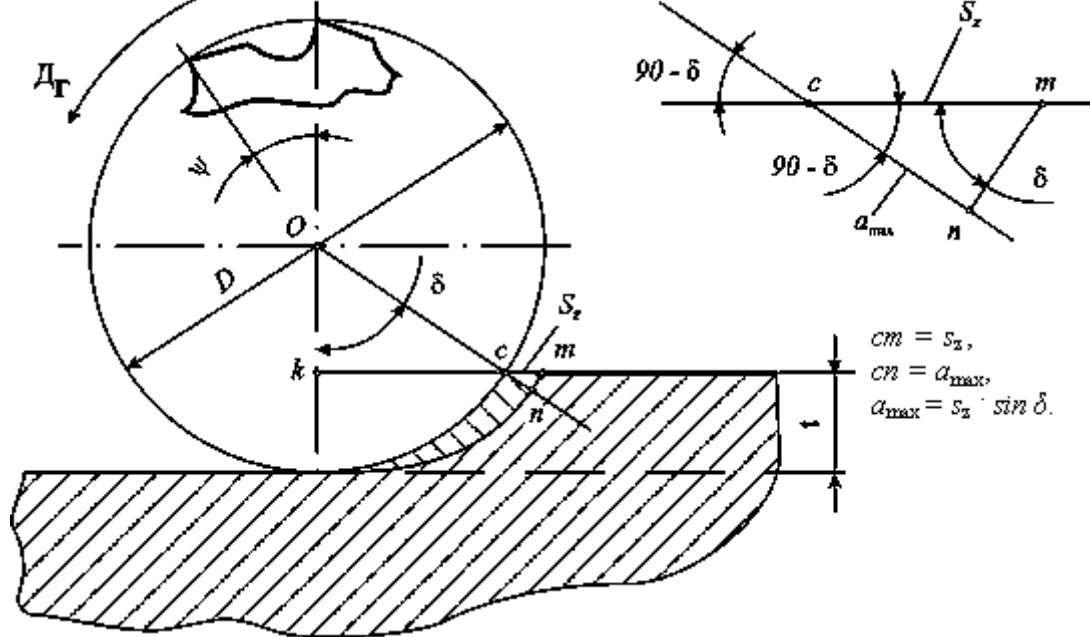
где: D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Подачей называется перемещение обрабатываемой заготовки относительно фрезы. При фрезеровании различают три вида подач:

- подача на зуб (s_z , мм/зуб) – величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб;
- подача на оборот фрезы (s_0 , мм/об) – величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы;
- подача в минуту (или минутная подача, s_m , мм/мин) – величина перемещения заготовки в минуту
- Эти подачи связаны между собой зависимостью:

$$\begin{aligned} s_0 &= s_z \cdot Z, \\ s_m &= s_0 \cdot n, \\ s_m &= s_z \cdot Z \cdot n, \end{aligned}$$

где: Z – число зубьев фрезы, n – частота вращения, об/мин.

$$\cos \delta = \frac{OK}{OC}; OK = \frac{D}{2} - t; OC = \frac{D}{2}; \cos \delta = 1 - \frac{2t}{D}.$$

$$Z_{o.p.} = \frac{\delta}{w} \geq 2; \psi = \frac{360^\circ}{Z}$$

$$Z_{o.p.} = \frac{\delta \cdot Z}{360^\circ}.$$

Толщина среза при фрезеровании переменная, ее величина зависит от подачи на зуб и угла контакта фрезы:

$$a_{\max} = s_z \cdot \sin \delta.$$

При расчете режима резания глубина резания t назначается максимально возможной по условиям жесткости технологической системы, ширина фрезерования B определяется размерами обрабатываемой поверхности. Подача на зуб s_z выбирается по таблицам справочников в зависимости от вида и размеров применяемого инструмента, мощности станка и свойств обрабатываемого материала.

Скорость резания v рассчитывается с учетом величины выбранных элементов режима резания по формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v, \text{ м/мин},$$

где: C_v – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала;

D – диаметр фрезы, мм;

T – стойкость фрезы, которая назначается в пределах от 60 до 400 минут в зависимости от вида и размера фрез, мин;

z – число зубьев фрезы;

s_z – подача на зуб, мм/зуб.

После расчета режима резания определяется главная составляющая силы резания P_z , крутящий момент $M_{кр}$ и потребляемая на резание мощность N :

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^X \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp}, \text{ Н.}$$

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000}, \text{ Н.м},$$

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

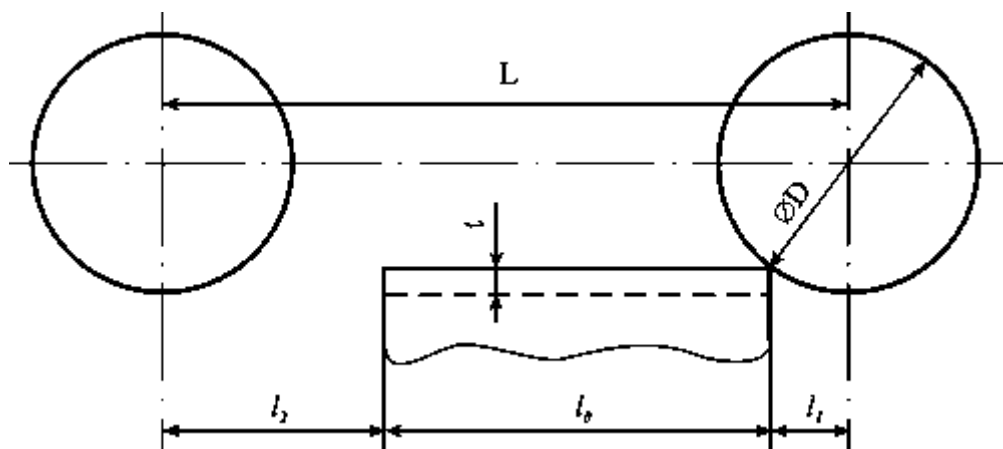


Рис.15.3. Схема расчета основного технологического времени при фрезеровании.

Основное технологическое время t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{S_{\text{ж}}}, \text{ мин,}$$

$$L = l_1 + l_0 + l_2;$$

Величина врезания l_1 зависит от диаметра фрезы и глубины резания. Из рис.15.3. видно, что:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - t\right)^2 + l_1^2,$$

откуда

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)}.$$

Величина перебега l_2 назначается в зависимости от размеров обрабатываемого изделия и диаметра фрезы.

Протягивание

Протягивание применяется как окончательный вид обработки деталей, обеспечивающий высокую точность размеров и качество обработанных

поверхностей. Метод высоко производительный, поскольку полная обработка изделия производится за один проход инструмента. Инструментами служат протяжки и прошивки. Протяжки протягиваются через обрабатываемое изделие, а прошивки продавливаются (прошиваются) через него.

Главным движением является движение протяжки, а скорость его — скоростью резания. Движение подачи отсутствует. Срезание припуска обеспечивается увеличением размера (подъемом) зубьев: каждый последующий зуб выше предыдущего на величину подачи s_z . Глубиной резания при протягивании является ширина обрабатываемой поверхности или периметр обрабатываемого отверстия.

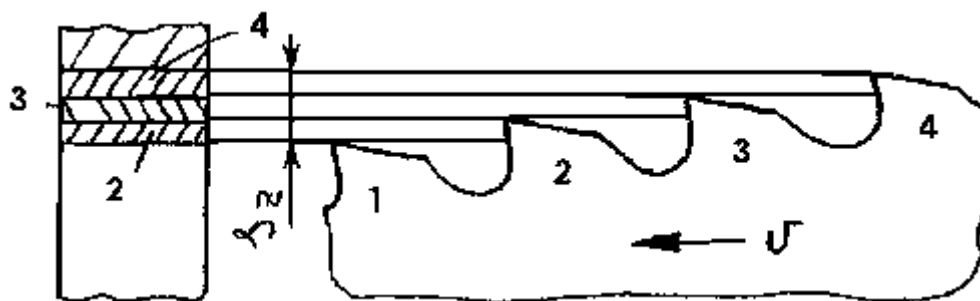


Рис. 16.1. Схема срезания припуска при протягивании.

Срезание припуска производится последовательно (послойно) режущими зубьями протяжки (рис.16.1). Из этого рисунка видно, что первый зуб не срезает припуск, так как его размер меньше размера отверстия протягивания. Второй зуб срезает слой припуска, расположенный против этого второго зуба и обозначенный цифрой 2. Третий зуб срежет слой 3 так далее. Последние зубья протяжки имеют одинаковый размер и потому срезания припуска не производят, а лишь зачищают поверхность и калибруют ее. Эти зубья называются калибрующими.

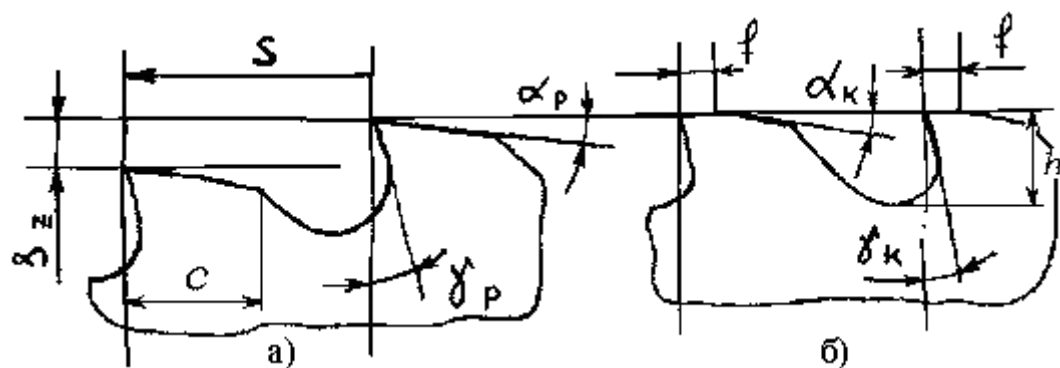


Рис. 16.2. Профиль: а) режущих и б) калибрующих зубьев протяжки.

В отличие от режущих зубьев, калибрующие зубья имеют на задней поверхности фаску f . Величина переднего угла назначается в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах 10—15 градусов. Задний угол режущих зубьев делается 3-4 градуса, а калибрующих 1 градус. Размеры зубьев протяжки зависят от длины протягиваемого отверстия.

$$S = 1,25 - 1,75 \sqrt{l_0};$$

$$h = (0,35 - 0,5)S, \quad C = 0,25S.$$

Число режущих зубьев определяется как частные от деления величины припуска на подъем зуба S_z . Так при протягивании круглого отверстия припуск на сторону «А» равен половине разности диаметров до и после протягивания:

$$A = \frac{D - d_0}{2}, \text{ мм.}$$

Число режущих зубьев Z_p будет:

$$Z_p = \frac{A}{S_z} + 1.$$

где: A – припуск на сторону, мм;

S_z – подача на зуб (подъем зуба), мм/зуб.

В этой расчётной формуле добавлена единица, так как первый режущий зуб срезания припуска не производит, его размер сделан равным размеру отверстия под протягивание, он сделан на случай отклонения размера этого отверстия.

В процессе резания вся образующаяся стружка размещается во впадинах между зубьями и никуда не отводится. Поэтому производится проверка протяжки на заполнение впадины. Активная площадь продольного сечения впадины $F_{акт}$ равна площади вписанного в нее круга и должна быть больше площади продольного сечения стружки $F_{стр.}$ в 2,5-4,5 раза. Отношение этих площадей называется коэффициентом заполнения впадины.

$$k = \frac{F_{акт.}}{F_{стр.}}; F_{акт.} = \frac{\pi \cdot h^2}{4}; F_{стр.} = s_z \cdot l_o; k = 2,5-4,5; k = \frac{\pi \cdot h^2}{4 \cdot s_z \cdot l_o},$$

где: h – высота зуба;

l_o – длина обрабатываемого отверстия.

Последовательность срезания припуска определяется конструкцией протяжки и схемой резания. Различают три схемы резания: профильную, генераторную и прогрессивную.

Профильная схема резания предусматривает последовательное срезание припуска зубьями, профиль которых подобен профилю обрабатываемой поверхности.

Генераторная схема характеризуется тем, что каждый зуб не повторяет, а формирует (генерирует) профиль обрабатываемой поверхности.

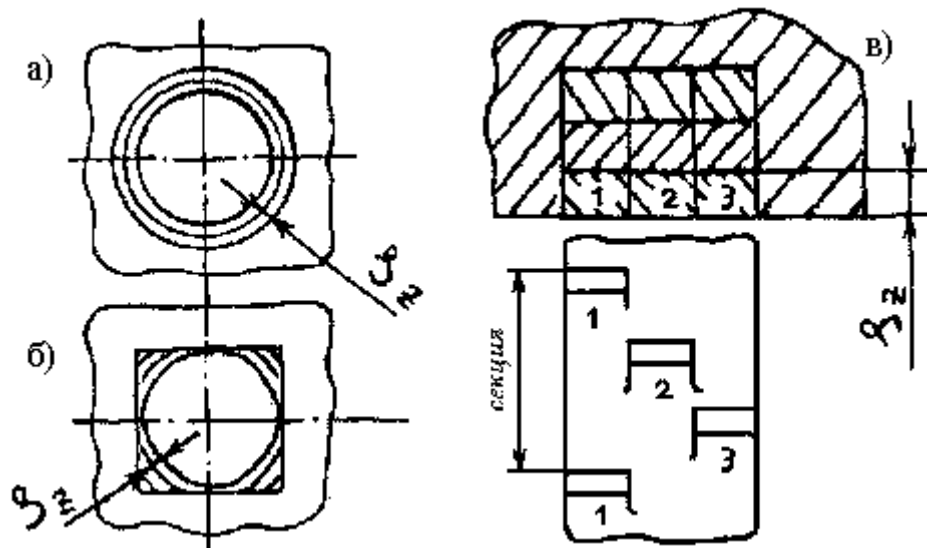


Рис. 16.3. Схемы резания при протягивании: а) профильная, б) генераторная, в) прогрессивная.

Прогрессивная схема резания заключается в разделении ширины срезаемого слоя между несколькими зубьями одной секции. Высота зубьев одной секции одинакова. Подача на зуб здесь значительно увеличивается. Таким образом, создаются более выгодные условия резания: режущие кромки зубьев проходят в объеме основного не упрочненного слоя обрабатываемого материала и меньше изнашиваются.

Расчет режима резания производится обычным порядком, но глубина резания не выбирается и не назначается, так как она определяется размерами и формой обрабатываемой поверхности. Подача выбирается в таблицах справочников в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах от 0,01 до 0,3 мм. Скорость резания выбирается в справочной литературе или рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^{m_z} \cdot s_z^{y_z}}$$

Стойкость протяжек назначается в пределах 100-500 мин. Обычно скорость при протягивании быстрорежущими протяжками находится в пределах от 2 до 10 м/мин., твердосплавные протяжки могут работать со скоростью резания до 20 м/мин.

Сила резания при протягивании рассчитывается по величине длины одновременно работающих режущих кромок зубьев протяжки.

$$P_z = P \cdot \sum B; P_z = P \cdot p \cdot Z_{o.p.},$$

где: P – сила резания, приходящаяся на 1мм. длины режущего лезвия зуба протяжки;

$\sum B$ – общая длина режущих кромок;

p – периметр обрабатываемой поверхности;

$Z_{o.p.}$ – число одновременно работающих зубьев.

$$Z_{o.p.} = \frac{l}{S}.$$

После определения силы резания производится выбор станка и проверка принятой скорости резания по мощности двигателя станка.

$$v_{max} = \frac{60000 \cdot N \cdot \eta}{P_z} \leq v_{np}.$$

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{1000 \cdot v} \cdot k,$$

где: L – длина рабочего хода протяжки;

k – коэффициент, учитывающий время обратного хода протяжки. ($k = 1,2 - 1,5$).

Нарезание резьбы.

Нарезание резьбы может производиться резьбовыми резцами методом точения, вихревым методом, метчиками или плашками. Резьбовыми резцами нарезаются как крепежные, так и ходовые резьбы. Вихревым методом с помощью специальных вихревых головок нарезаются в большинстве случаев ходовые резьбы на деталях типа ходовых винтов металлорежущих станков. Метчиками и плашками нарезаются, как правило, крепежные резьбы.

Нарезание резьбы резцами (методом точения) может производиться по профильной или генераторной схемам (рис.17.1).

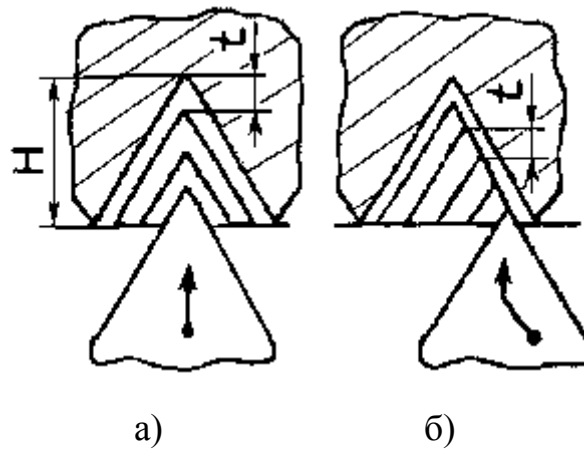


Рис.17.1. Нарезание резьбы резцами: а) по профильной и б) генераторной схемам.

Полный профиль резьбы нарезается за несколько проходов резца. После каждого прохода резец совершает холостой ход и возвращается в исходное положение, смещается на величину глубины резания и снова «проходит» по резьбе. Число проходов i зависит от шага P нарезаемой резьбы и примерно равно удвоенному его значению. Глубина резания равна доле высоты профиля, приходящейся на один проход. Подача равна шагу резьбы P .

$$t = \frac{H}{i}, \text{ мм}; \quad s = p, \text{ мм/об}; \quad v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин};$$

Расчет оптимальной скорости резания ведется по известной вам формуле расчета скорости при точении:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot p^y} \cdot k_v, \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время определяется с учетом времени на обратный ход резца и числа заходов резьбы.

$$t_o = \left(\frac{L}{p \cdot n_{p.x.}} + \frac{L}{p \cdot n_{x.x.}} \right) \cdot i \cdot q,$$

где: L — длина хода, мм;

p — шаг резьбы, мм;

$n_{p.x.}$ – частота вращения шпинделя при рабочем ходе резца, об/мин.;

$n_{x.x.}$ – частота вращения шпинделя при холостом ходе резца, об/мин.;

i – число проходов;

q – число заходов резьбы.

Нарезание резьбы метчиками и плашками может проводиться на токарных, сверлильных и многооперационных станках.

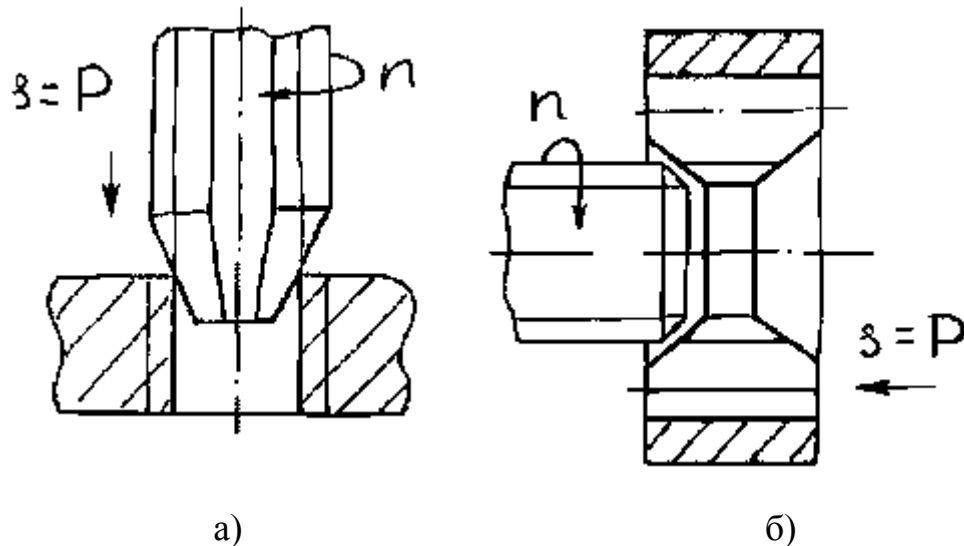


Рис. 17.2.Схемы нарезания резьбы: а) метчиком и б) плашкой.

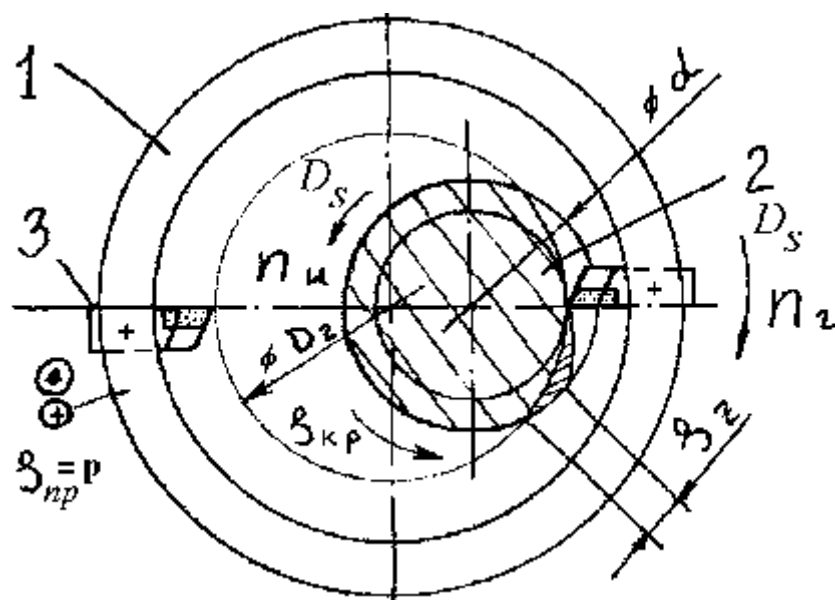
n_m -частота вращения метчика; n_u - частота вращения изделия, на котором нарезается резьба.

Главное движение (вращательное) может придаваться как изделию, так и режущему инструменту. Движение подачи – поступательное вдоль оси. Глубина резания равна высоте профиля резьбы, подача – ее шагу.

$$t = H; s = p; \quad v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot p^y} \cdot k_v.$$

Вихревое нарезание резьбы осуществляется с помощью специальных вращающихся (вихревых) головок, которые устанавливаются на поперечных салазках токарных станков.

Нарезаемый винт пропускается через отверстие головки и закрепляется в центрах или в патроне и центре задней бабки станка. Главным движением является вращательное движение вихревой головки с закрепленными в ней резцами. Движение круговой подачи придается нарезаемому винту, а продольной – вихревой головке вдоль оси вращения винта. Вихревое нарезание резьбы по сути своей есть процесс фрезерования канавки между витками резьбы.



1 - вихревая головка,

2 - нарезаемое изделие- винт,

3 - резьбовой резец,

D_r - диаметр головки,

d - диаметр изделия нарезаемого винта,

$S_{кр}$ – круговая подача, мм/зуб,

$S_{пр}$ – продольная подача, мм/об.

Рис. 17.3. Схема вихревого нарезания резьбы.

Глубина резания при нарезании резьбы за один проход равняется высоте профиля резьбы, а при нарезании за несколько проходов – части профиля.

$$t_{чгрн.} = H - A; \quad t_{чист.} = A;$$

Величина продольной подачи равняется шагу резьбы:

$$s_{прод.} = P;$$

Скорость резания зависит от частоты вращения вихревой головки:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000};$$

Расчет оптимальной скорости резания ведется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot P^y} \cdot k_v, \text{ м/мин},$$

где: H – высота профиля нарезаемой резьбы, мм;

A – припуск на чистовой проход, мм;

P – шаг нарезаемой резьбы, мм;

D_z – диаметр рабочей окружности головки, на которой располагаются вершины резцов головки, мм;

n_z – частота вращения головки, об/мин;

s_z – круговая подача, мм./зуб.

Величина круговой подачи на зуб – перемещение поверхности резания за время поворота головки на один зуб, регулируется путем изменения частоты вращения обрабатываемого изделия n_u . Величину ее можно определить исходя из следующих рассуждений. За время одного оборота нарезаемого изделия – винта, резцами прорезается канавка длиной l_0 , в течение одной минуты прорезается канавка длиной l_k в n_u раз большая.

$$l_s = \frac{\pi \cdot d}{\cos \beta};$$

$$l_k = \frac{\pi \cdot d}{\cos \beta} \cdot n_u;$$

За время одной минуты все резцы сделают N срезов, число которых равно произведению числа резцов Z в головке и частоты ее вращения $N = Z \cdot n_z$. Доля

длины канавки, приходящаяся на один срез и есть подача на зуб s_z . Для определения ее величины остается лишь разделить длину прорезанной в течение одной минуты канавки l_k на число срезов N , сделанных в течение одной минуты.

$$s_z = \frac{\pi \cdot d_u \cdot n_u}{\cos \beta \cdot Z \cdot n_z};$$

$$s_z = \frac{l_k}{N};$$

На основании этой зависимости следует назначить частоту вращения изделия (винта) n_u , соответствующую выбранной и принятой величине подачи на зуб s_z .

$$n_u = \frac{s_z \cdot \cos \beta \cdot Z \cdot n_z}{\pi \cdot d_u},$$

где: n_u - частота вращения шпинделя станка и нарезаемого винта, об/мин;

s_z — выбранная величина подачи на зуб, мм/зуб;

β — угол подъема резьбы;

Z - число резцов в головке;

n_z — частота вращения головки, об/мин.;

d_u — наружный диаметр нарезаемой резьбы, мм.

Величина s_z выбирается по таблицам справочной литературы в пределах от 0,4 до 1,2 мм. на зуб в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала.

Основное технологическое время определяется по формуле

$$t_o = \frac{L \cdot i}{p \cdot n_u}$$

Вихревое нарезание резьбы обеспечивает высокое качество ее и высокую производительность за счет малого числа проходов.

Шлифование

Особенности процесса резания при шлифовании

Шлифование обеспечивает получение высокой чистоты обработанной поверхности и высокой точности размеров обрабатываемых деталей. Шлифование выполняется абразивными инструментами. Абразивный инструмент представляет собой твердое тело, состоящее из зерен абразивного (шлифовального) материала, скрепленных между собой связкой. Значительную часть объема абразивного инструмента занимают воздушные поры. Абразивные инструменты в подавляющем большинстве используются в виде шлифовальных кругов разнообразной формы. Кроме того, они могут

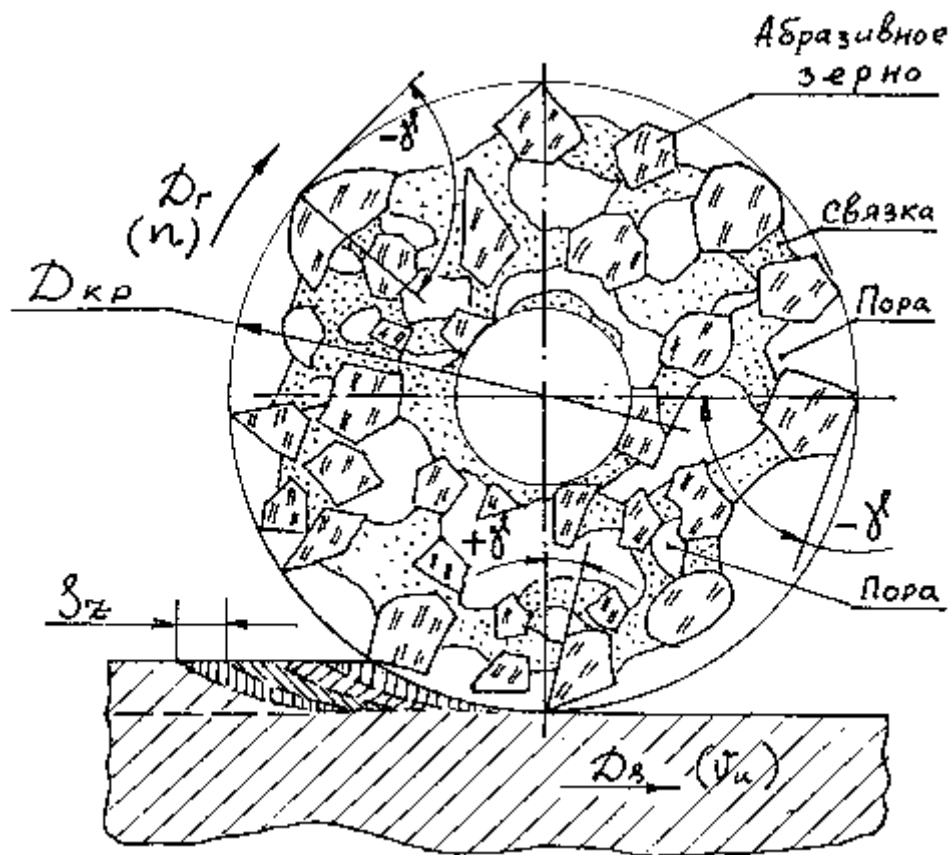


Рис.18.1. Схема резания и расположения абразивных зерен, пор и связки в абразивном инструменте при шлифовании.

использоваться в виде брусков, шкурок, паст и порошков.

Процесс резания при шлифовании можно рассматривать как фрезерование многозубой фрезой с высокой скоростью. Каждое единичное абразивное зерно представляет собой режущее лезвие со случайными геометрическими параметрами, которые зависят не только от формы зерна, но и от положения его в абразивном инструменте. На рис.18.1. видно, что наибольший, отрицательный передний угол имеется на зернах со сферической поверхностью.

Каждое единичное зерно срезает стружку очень малого переменного сечения. Обработанная поверхность образуется в результате совокупного действия большого числа абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности абразивного инструмента. Срезаемая в процессе работы круга

стружка располагается в порах между зернами. Разогревшаяся до высокой температуры, близкой к температуре плавления обрабатываемого материала, и размягчившаяся стружка забивает поры и налипает на поверхность круга, происходит так называемое «засаливание» его. При этом режущая способность шлифовального круга резко падает, ухудшается чистота и качество обработанной поверхности. Для восстановления режущей способности круга производится его правка, при которой с помощью правочных роликов или алмазных «карандашей» с режущей части круга удаляется поверхностный слой затупившихся и засалившихся зерен.

Работа единичного зерна

Определить условия работы единичного зерна, в частности подачу, приходящуюся на одно единичное зерно, можно исходя из тех же соображений, что и при расчете подачи на зуб при вихревом нарезании резьбы. В качестве примера возьмем случай плоского шлифования. В течение одной минуты с обрабатываемой детали срезается слой припуска длиной, равной величине продольной подачи v_u , м/мин. В течение этого времени абразивный круг сделает n оборотов. Все лежащие на периферийной поверхности круга абразивные зерна при этом принимают участие в срезании припуска. Все абразивные зерна, лежащие в одной общей плоскости, проходящей перпендикулярно оси вращения круга, сделают в течение одной минуты число срезов N равное произведению числа лежащих в этой плоскости зерен и числа, сделанных в течение этой минуты оборотов круга. Число этих оборотов известно – оно равно частоте вращения круга n_k . При условии расположения абразивных зерен вплотную друг к другу, без свободных промежутков между ними, число зерен лежащих на одной окружности периферийной поверхности круга (в одной

плоскости) $Z_{a.z.}$ можно определить, поделив длину окружности периферийной поверхности круга на размер зерна. В действительности абразивный материал занимает лишь долю объема инструмента (см. табл.18.1.).

Таблица 18.1. Объемное содержание шлифовального материала в абразивных инструментах.

Номер структуры	1—3	3-4	5-6	7-8	9-12	13-16
Содержание абразивных зерен, %	60-56	56-54	52-50	48-46	44-38	34-30

Оставшаяся часть объема приходится на занятые воздухом поры и связку, скрепляющую абразивные зерна. Следовательно, и на рабочей, периферийной поверхности абразивные зерна занимают такую же долю площади и в том же соотношении распределяются по окружности в плоскости, нормальной к оси вращения круга.

На рис.18.1. представлена схема расположения абразивных зерен на поверхности абразивного круга по окружности, лежащей в плоскости перпендикулярной оси вращения круга. Эти зерна последовательно друг за другом срезают припуск по одной линии в направлении продольной подачи. Каждое абразивное зерно вслед за предыдущим срезает стружку, толщина которой соответствует величине подачи на зуб (на зерно) s_z .

Таким образом, исходя из вышесказанных соображений:

$$s_z = \frac{v_u}{N}, \text{ мм/зубно};$$

где: s_z – подача на зуб (зерно), мм/зуб;

v_u – продольная подача, мм/мин;

N – число срезов сделанных в течение одной минуты абразивными зернами, лежащими в одной плоскости на периферийной поверхности абразивного круга;

$N = n_{kp} \cdot Z_{a.z.}$ абразивных зерен на длине окружности, на периферийной поверхности абразивного круга.

$$Z_{a.z.} = \frac{\pi \cdot D_{kp} \cdot C}{100 \cdot \delta},$$

где: $Z_{a.z.}$ – число абразивных зерен на окружности периферийной поверхности круга в плоскости нормальной к оси его вращения;

$D_{кр}$ – наружный диаметр круга, мм.

δ – поперечный размер абразивных зерен, мм.

C – содержание абразивных зерен, %.

Исходя из этого:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{кр} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{кр}}, \text{ мм/зерно.}$$

С целью количественной оценки величины подачи s_z , приходящейся на одно абразивное зерно, проведем ее расчет для произвольно принятых условий шлифования в пределах реально применяемых в практике машиностроения. Предположим, что шлифование плоской поверхности ведется на плоскошлифовальном станке абразивным кругом прямого профиля диаметром $D_{кр}=200$ мм. с зернистостью шлифовального материала 50, что соответствует размеру абразивных зерен $\delta = 0,5$ мм. Структура круга No 3 с объемным содержанием шлифовального материала $C=50\%$. Примем скорость продольной подачи $v_u=12$ м/мин., частоту вращения круга $n_{кр}=2800$ об./мин. Для этих условий:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{кр} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{кр}} = \frac{1000 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 100}{2800 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 50} = 0,00682 \text{ мм/зерно}$$

Абразивные инструменты и их маркировка

Все абразивные инструменты имеют свою маркировку. В маркировке абразивного инструмента указывается природа абразивного материала, размер его зерен (зернистость) и зерновой состав (содержание основной фракции),

твердость инструмента, природа и свойства связки, класс точности и класс неуравновешенности круга.

Так, например, маркировка абразивного круга может быть:

25А 16 II SM2 8 К8 Б 3,

где

25А – шлифовальный материал-электрокорунд белый,

16 — зернистость (160-200 мкм.),

II — зерновой состав (содержание основной фракции 55%),

SM2 – твердость круга,

8 — номер структуры,

К8 — связка керамическая,

Б — класс точности,

3 — класс неуравновешенности круга.

Кроме этого на абразивном круге указывается обозначение его формы, размеры и максимальная окружная скорость (скорость резания) в метрах в секунду.

В качестве шлифовальных материалов применяются:

- на основе кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 - нормальный электрокорунд (марки **13А, 14А и 15А**), электрокорунд белый (**23А, 24А, 25А**), хромистый электрокорунд (**33А и 34А**), монокорунд (**43А, 44А**);
- на основе карбида кремния SiC- карбид кремния черный (**53С, 54С, 55С**) и карбид кремния зеленый (**63С, 64С**);
- природный алмаз (**А1, А2, А3, А5, А8**);
- синтетический алмаз (**АС2, АС4, АС6, АС15, АС20**).

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делятся на четыре группы: шлифзерно (2000-160 мкм), шлифпорошки (125-40 мкм), микрошлифпорошки (63-14 мкм) и тонкие микропорошки (10-3 мкм). В номере

зернистости размер зерен основной фракции указывается в сотых долях миллиметра.

Содержание основной фракции обозначается буквенными индексами: ***В*** (высокое), ***П*** (пониженное), ***Н*** (низкое) и ***Д*** (допустимое).

Твердость абразивного инструмента зависит от прочности связки и характеризует способность связки удерживать зерна шлифовального материала. Установлены семь степеней твердости инструментов: весьма мягкие (***ВМ1***, ***ВМ2***), мягкие (***М1***, ***М2***, ***М3***), среднемягкие (***СМ1***, ***СМ2***), средние (***С1***, ***С2***), среднетвердые (***СТ1***, ***СТ2***, ***СТ3***), твердые (***Т1***, ***Т2***), весьма твердые (***ВТ***) и чрезвычайно твердые (***ЧТ***).

Номер структуры круга показывает объемное содержание шлифовального материала. С увеличением номера от 1 до 16 содержание шлифовального материала уменьшается, а объем пор увеличивается.

Связки абразивных инструментов могут быть: керамические (***К1-К10***), бакелитовые (***Б***, ***Б1-Б4***), вулканитовые (***В***, ***В1-В5***), металлические (***М1***, ***МК***, ***МВ1***), глифталевые (***Г***) и другие.

Шлифовальные круги изготавливаются трех классов точности (***АА***, ***А*** и ***Б***) и четырех классов неуравновешенности (***1***, ***2***, ***3*** и ***4***).

При шлифовании вращательное главное движение резания всегда придается режущему инструменту — шлифовальному кругу. Скорость его является скоростью резания, измеряемой, в отличие от всех других видов обработки резанием, в метрах в секунду. По форме обрабатываемой поверхности шлифование может быть плоским или круглым.

Плоское и круглое шлифование

При плоском шлифовании периферией круга обрабатываемой заготовке придаются движения продольной подачи $S_{пр}$ со скоростью v_u и поперечной подачи s_n . После прохода по всей обрабатываемой поверхности шлифовальному кругу дается движение вертикальной подачи s_v , в результате которого он перемещается на величину глубины резания t .

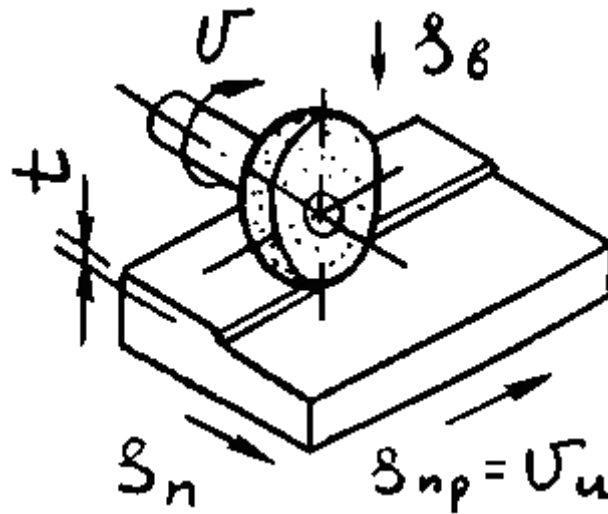


Рис.18.2. Схема плоского шлифования.

Глубина резания назначается в пределах 0,005-0,015 мм при чистовых проходах и 0,015-0,15 при черновых проходах. Поперечная подача зависит от ширины круга и назначается на чистовых проходах 0,2-0,3, а на черновых 0,4-0,7 его ширины.

Скорость продольной подачи заготовки назначается в пределах от 3 до 30 м/мин. Скорость резания не рассчитывается и не регулируется.

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{l \cdot (B_{kp} + B_z + l_2) \cdot h \cdot k_T}{1000 \cdot v_u \cdot t \cdot s_n},$$

где: l — длина хода стола с заготовкой, мм;

B_{kp} — ширина круга, мм;

B_z — ширина заготовки, мм;

l_2 – величина перебега с каждой боковой стороны перепега, мм;

h – величина припуска, мм;

v_u – скорость продольной подачи, м/мин;

s_n – поперечная подача, мм/х. или мм/дв.х.;

t – глубина резания, мм;

k_T – коэффициент точности (1,2-1,5).

Круглое шлифование может осуществляться методами продольной подачи, глубинным, врезания и бесцентрового шлифования.

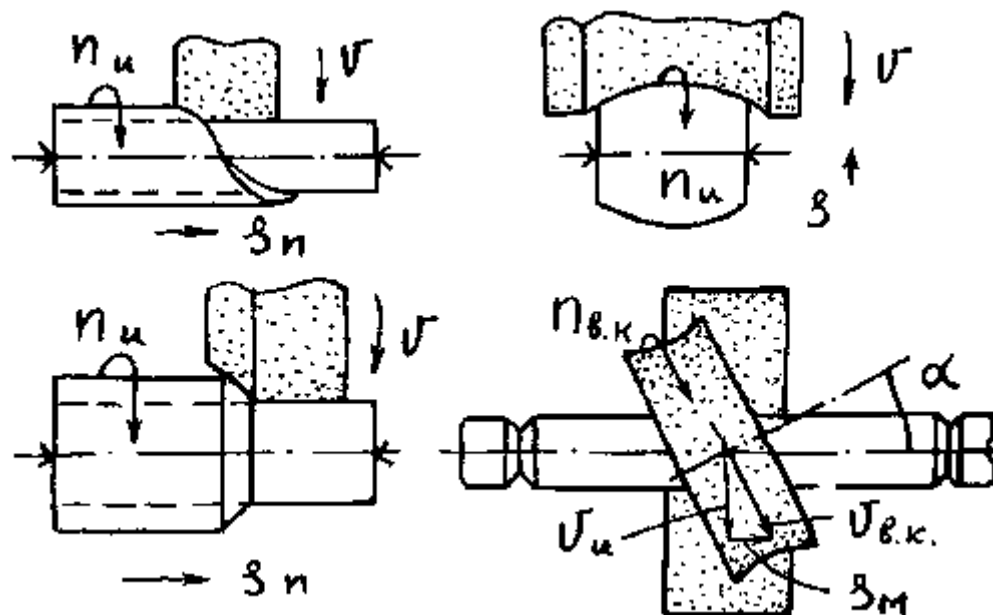


Рис.18.4.2. Методы круглого шлифования.

При бесцентровом шлифовании продольная подача s_m изделия происходит за счет поворота ведущего круга.

$$s_m = \pi \cdot D_{\text{в.к.}} \cdot n_{\text{в.к.}} \cdot \sin \alpha \cdot \lambda,$$

где: λ — коэффициент, учитывающий проскальзывание круга.

Основное технологическое время определяется:

при шлифовании методом продольной подачи

$$t_o = \frac{(l_o + B_{kp} + l_2) \cdot h \cdot k_T}{s_n \cdot n_u \cdot t};$$

при глубинном методе

$$t_o = \frac{l_o + B_{kp} + l_2}{s_n \cdot n_u};$$

при шлифовании методом врезания

$$t_o = \frac{h \cdot k_T}{s \cdot n_u};$$

при бесцентровом шлифовании

$$t_o = \frac{(l_o \cdot m + B_{kp})}{s_m \cdot m},$$

где: l_o – длина обрабатываемой поверхности;

B_{kp} – ширина шлифовального круга, мм;

s_n – продольная подача, мм/об;

n_u – частота вращения изделия, об/мин;

h – припуск на обработку, мм;

t – глубина резания, мм;

s_m – минутная подача, мм/мин;

m – число деталей в партии, шлифуемых одним потоком;

k_T – коэффициент точности.

Кроме жесткого шлифования твердыми кругами в практике машиностроения в последнее время находит все расширяющееся применение мягкое шлифование абразивными лентами, лепестковыми кругами и в среде свободного абразива.

10. Особенности проектирования приспособлений для станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и гибких производственных систем

К станочным приспособлениям, применяемых на станках с ЧПУ, предъявляются следующие требования:

- а) высокая точность и жесткость, обеспечивающая требуемую точность обработки и максимальное использование мощности станка;
- б) полное базирование как заготовки, так и приспособления относительно начала координат станка;
- в) возможность подхода инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям;
- г) возможность смены заготовки вне рабочей зоны станка или станка вообще;
- д) возможность быстрой смены или быстрой переналадки приспособления на станке;
- е) возможность смены приспособления вне рабочей зоны станка или вне станка;
- ж) наличие быстродействующих механизированных зажимных устройств;
- з) возможность размещения нескольких заготовок на одном приспособлении.

Особенности установки приспособлений на станках с ЧПУ

Особенностью установки является необходимость полного базирования и быстрого закрепления приспособления на столе станка, обеспечивающего жесткую связь с началом координат станка и привязка к исходной точке обработки (точке, в которой находится инструмент перед началом работы станка).

При наличии на столе станка продольных пазов и центрального поперечного паза приспособление базируется с помощью установочных шпонок или штырей по продольному 1 и поперечному 2 пазам (рис.15.1, а), и при наличии продольных пазов и центрального отверстия – цилиндрическим штырем по отверстию 1 и штырями по продольному пазу 2 (рис.15.1, б).

Приспособление можно базировать по двум плоскостям в координатный угол посредством точно изготовленного и выверенного угольника, устанавливаемого и закрепляемого в продольных пазах стола станка (рис.15.1, в).

Возможно также базирование приспособлений только по продольному пазу. В этом случае жесткая связь траектории обработки с началом координат станка по продольной оси стола отсутствует и установка инструмента 2 в исходную точку обработки должна осуществляться по шупу и установ 1, закрепленному на корпусе приспособления (рис.15.1, г), либо по установочному отверстию или штырю.

Часто с целью рационального размещения приспособлений на столе станка и сохранения точности базовых поверхностей стола, на нем жестко закрепляют накладные плиты с пазами и сеткой отверстий, с сеткой пазов, и с сеткой пазов и отверстий, которые могут использоваться для установки приспособления.

На накладных плитах 1, к торцам которых прикреплены поперечная 3 и продольная 4 планки с Т-образными пазами (рис.15.1, е), приспособления 2 базируют по пазу плиты шпонками и по шпонке 5, устанавливаемой на планках. На рис. 15.1, ж показано базирование приспособления 2 на накладной плите 1 с Т-образными пазами по пазу посредством шпонок и в продольном направлении посредством мерной планки 3, упирающейся в терновую планку 4.

Приспособление 2 может базироваться на накладной плите 1 с сеткой отверстий либо посредством трех штырей 3, установленных в отверстиях плиты (рис. 15.1, з), либо посредством мерных планок 5, упирающихся в торцовые планки 3 и 4 (рис.15.1, и).

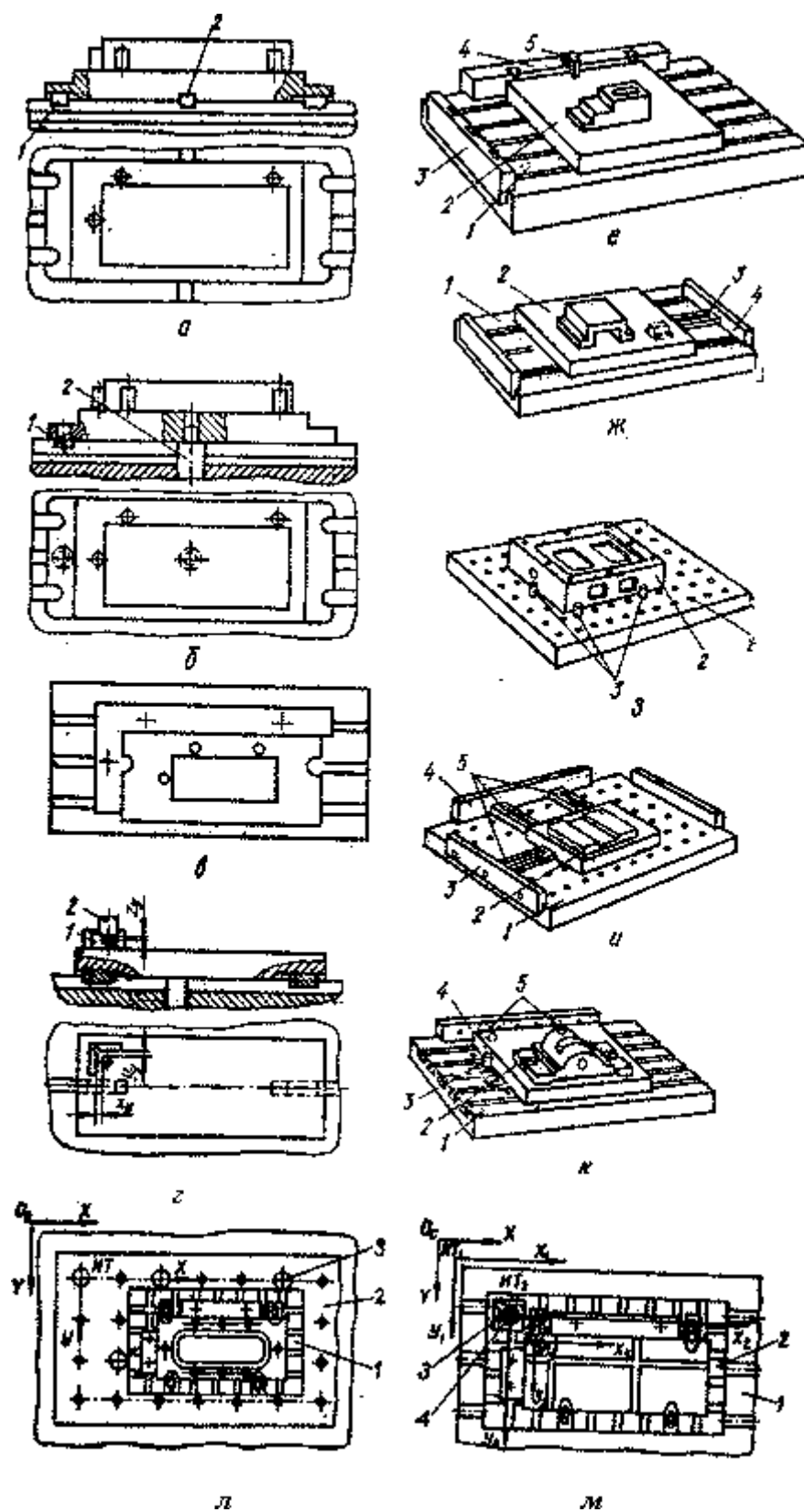


Рис. 15.1. Схема базирования приспособлений на станке.

На рис. 15.1, к показано приспособление 2, которое базируется на плите 1 с Т-образными пазами и отверстиями посредством штыря 3, установленного в отверстии плиты и двух штырей 5, расположенных в торцевой планке.

Универсально-сборное приспособление 1 (УСП), которое показано на рис. 15.1, л; базируется на накладной плите 2 посредством трех штырей 3, установленных в отверстиях плиты.

Приспособление 2 (УСП) может базироваться на столе станка 1 посредством двух шпонок, устанавливаемых Т-образном пазу стола станка (рис. 15.1, м). Установка инструмента в исходную точку осуществляется по контрольной оправке 4 и установу 3.

Системы приспособлений применяемых на станках с ЧПУ

На станках с ЧПУ применяются универсально-безнакладочные приспособления (УБП), универсально-накладочные (УНП), специализированные накладочные (СНП), универсально-сборные (УСП), механизированные универсально-сборочные для станков с ЧПУ (УСПМ), сборно-разборные (СРП), универсально-сборной переналаживаемой оснастки (УСПО).

Универсально-безнакладочные приспособления (УБП) – это приспособления общего назначения, обеспечивающие установку заготовки широкой номенклатуры. УБП представляет собой механизм долговременного действия с постоянным (несъемными) элементами для установки различных заготовок.

К УБП относятся токарные патроны, машинные тиски, поворотные столы, стойки и т. д.

Универсально-накладочные приспособления (УНП) обеспечивают установку и фиксацию заготовок при помощи специальных сменных накладок.

Базовая часто у них постоянная – это накладные координатные плиты, на которые устанавливаются сменные накладки.

Сменными накладками являются базирующие и зажимные элементы. Базовые плиты выполняют с пазами, сеткой пазов, сеткой отверстий, сеткой пазов и отверстий. К УНП относятся тиски, патроны со сменными кулачками и т. д.

Специализированные наладочные приспособления (СНП) предназначены для установки и закрепления родственных по конфигурации заготовок различных габаритов. Состоит из специализированного (по схеме базирования и виду обработки типовых групп изготавливаемых деталей) базового агрегата и сменных накладок.

Базисный агрегат предназначен для многократного использования. Сменная накладка – это специальная сборочная единица, обеспечивающая установку определенной заготовки на базовом агрегате. Система СНП отличается более высокой степенью механизации, а также возможностью применения многоместных приспособлений, обеспечивающих более высокую производительность.

Базовая плита имеет сетку отверстий и пазов для базирования и закрепления установочных и зажимных элементов.

Универсально-сборочные приспособления (УСП – ЧПУ)

Собираются из окончательно обработанных стандартных деталей и узлов. После использования компоновок УСП разбираются на составные части, которые используются в других компоновках. Срок службы 18 – 20 лет. УСП – ЧПУ предназначена для установки деталей с размерами до 600х400х300 на вертикально-фрезерных станках, горизонтально-расточных и ОЦ.

В состав компонента входят детали и сборочные единицы: базовые, корпусные, опорные и установочные, крепежные и прижимные.

Базовые плиты, пневматический стол, магнитная плита, самоцентрирующий и плавающий зажимы.

Корпусные, опорные и установочные детали предназначены для ориентации заготовок на базовых деталях.

Крепежные и прижимные шпонки, прихваты, болты, шпильки, гайки, механизированные зажимы и т. д.

Недостатки УСП.

- наличие большого количества стыков, что снижает их жесткость;
- отсутствие быстродействующих зажимов.

Система механизированных универсально-сборных приспособлений УСПМ-ЧПУ эти приспособления предназначены для установки заготовок на станках с ЧПУ фрезерной и сверлильной групп в единичном и мелкосерийном производствах. Выпускается два комплекта УСПМ-12 ЧПУ и УСПМ-16 ЧПУ с пазами соответственно 12 и 16 мм. Базовыми узлами являются гидроблоки – плиты с Т-образными пазами и встроенными гидроцилиндрами (рис. 15.2).

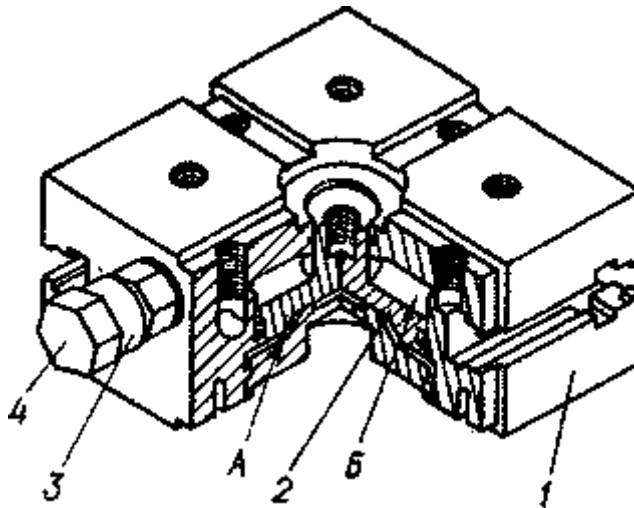


Рис. 15.2. Конструкция гидроблока УСПМ-ЧПУ.

Гидроблок состоит из корпуса 1, цилиндра 2, штуцеров 3, заглушек 4. при подаче масла от источника в полость А создается усилие, которое через шпильки передается на зажимной элемент. Полость Б служит для возврата поршня в исходное положение при отжати заготовки.

Гидроблоки могут использоваться как отдельно, так и в сборе.

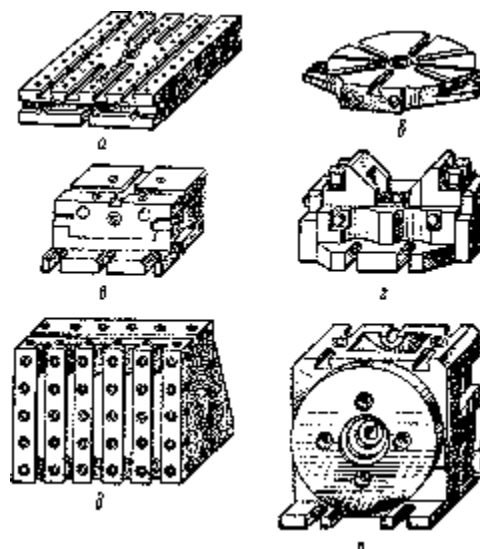
Зажимное усилие в УСПМ-12 ЧПУ составляет 12600 – 38500 Н, а УСПМ-16 ЧПУ – 14650 – 56 000 Н при давлении масла в системе 10 МПа. Стоимость компонентов 20000 руб. Срок службы – 10 (15 лет.

УСПМ-12 ЧПУ предназначены для обработки деталей с габаритными размерами до 400х400х260 мм. УСПМ-16 ЧПУ для деталей с размерами более 400х400х260 мм.

УСПМ-ЧПУ состоит из следующих групп: базовые гидроблоки, опорные, прижимные элементы, гидропривод, арматура.

Система СРП-ЧПУ состоит из элементов деталей и сборочных единиц, которые путем агрегатирования могут компоноваться в различные сборно-разборные приспособления для серийного производства. Элементы СРП фиксируются посредством соединения палец-отверстие. Для этого в базовых сборочных единицах имеются сетки координатно-фиксирующих отверстий. Элементы СРП крепятся на базовых плитах и угольника посредством Т-образных пазов (СРП-14 и СРП-18 ЧПУ). Срок службы 12-15 лет. Здесь применяются гидроплиты. Размеры до 900х600х360 мм.

В соответствии с назначением детали и сборочной единицы комплекта СРП образуют 6 групп: базовые сборочные единицы (рис. 15.3), прижимные детали и сборочные единицы (рис. 15.4), опорные детали и сборочные единицы (рис. 15.5), установочные детали и сборочные единицы (рис. 15.6), крепежные детали, разные детали.



а, б – прямоугольные и круглые плиты; в, г – неподвижные губки и подвижные губки; д – угольники; е – делительные стойки.

Рис. 15.3. Основные базовые сборочные единицы системы СРП:

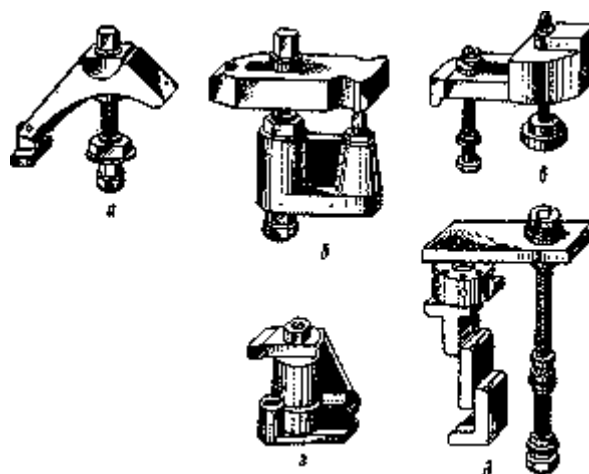


Рис. 15.4. Основные прижимные сборочные единицы системы СРП: а, б, в, г – качающийся, отводимый, гидравлический V – образный прижимы; д – прижим с перемещаемым гидроцилиндром.

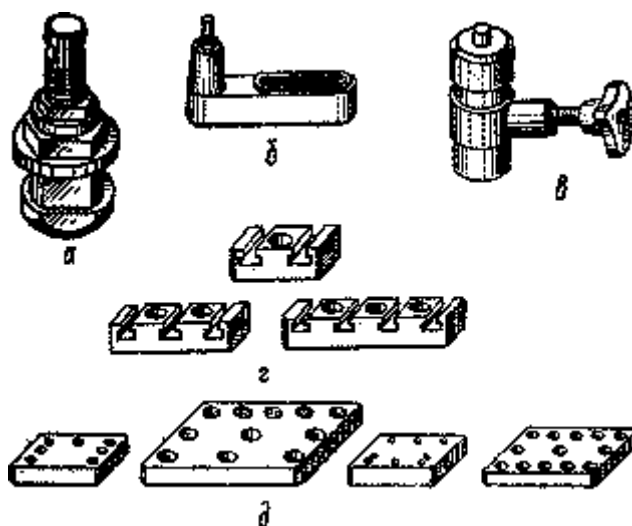


Рис. 15.5. Основные (опорные единицы системы СРП): а, б, в - регулируемые, подводимые регулируемые и самоустанавливающие опоры, г - планки с Т-образными пазами, д - с гладкими и резьбовыми отверстиями.

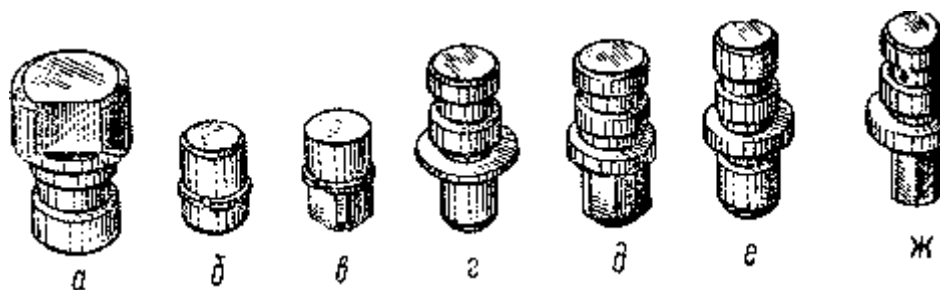


Рис. 15.6. Основные установочные детали для базирования заготовок в приспособлениях, фиксации опорных планок на плитах и угольниках взаимного базирования плит и базирования приспособлений на столах станков: а - шпонки; б - пальцы цилиндрические, в - ромбические, г, е - цилиндрические переходные, д, ж - ромбические переходные.

11. Система универсально сборной и переналаживаемой оснастки(УСПО).

Эти приспособления отбираются без пригонки. В отличие от системы УСП вместо шпоночного соединения элементов приняты штифтовой и шариковый.

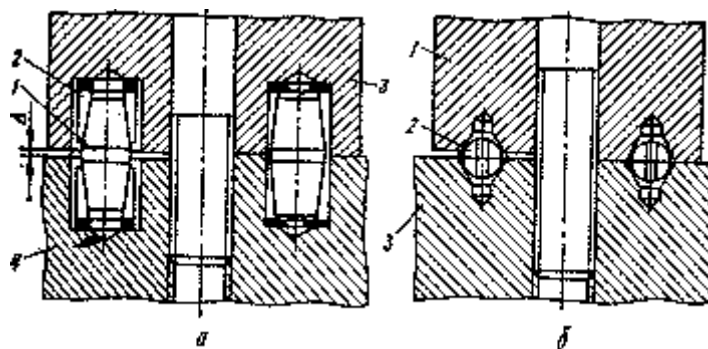


Рис. 15.7. Штифтовый и шариковый способы базирования элементов системы УСПО.

При штифтовом способе два элемента, имеющие глухие цилиндрические отверстия фиксируются на двух сборных штифтах. Каждый штифт состоит из пальца 1 с двумя коническими поверхностями, двух разрезных втулок 2 и двух эластичных шайб. При сборке соединения под действием силы, создаваемой болтом или шпилькой, опора 3 прижимается к плите 4. При этом шайбы давят на втулки, которые перемещаясь по пальцу увеличиваются в диаметре, выбирая зазор и создавая натяг в соединении.

При шариковом способе любая пара элементов, имеющая специальные конические отверстия (лунки), фиксируются двумя шариками 2, каждый из которых имеет центральное отверстие и прорезь. Элемент 1 под действием зажимного элемента (болта или шпильки) прижимается к плите 3. При этом шарики сжимаются до полного контакта соединяемых элементов.

УСПО применяются в мелкосерийном и серийном производствах.

Комплекс УСПО подразделяется на три серии, отличающихся друг от друга диаметрами крепежных элементов 8, 12 и 16 мм, а также габаритными и установочными размерами. Сетка расположения установочных (8, 12, 16 мм) и резьбовых (М8, М12х1,5 и М16) отверстий в сериях имеет соответственно шаг 20, 30 и 40 мм. Расстояние между установочными и резьбовыми отверстиями равно половине шага: 10, 15 и 20 мм. Расстояние между осями любой пары установочных отверстий выполняется с допуском $\pm 0,02$ мм, а расстояние

между осями любой пары резьбовых отверстий - $\pm 0,2$ мм. К группе базовых немеханизированных деталей комплекса относятся элементы, используемые в компоновках приспособлений в качестве их оснований.

По функциональному назначению элементы комплекса УСПО подразделяются на следующие группы: базовые, корпусные, установочные, направляющие, зажимные, крепежные, средства механизации зажима заготовок, разные.

К группе базовых деталей относятся квадратные, прямоугольные и круглые плиты, угольники и тумбы, к группе корпусных — элементы комплекса, предназначенные для создания корпусов приспособлений. В этой группе имеются опоры квадратного и прямоугольного сечения, приставки, установочные угольники, соединительные планки, опоры различных форм с отверстиями и т. д. Все корпусные детали почти на всех своих плоскостях имеют установочные и крепежные отверстия, расположенные в соответствии со схемой, характерной для каждой серии элементов. Основой построения конструкций всех элементов группы корпусных деталей является модуль, т. е. квадрат, размер которого зависит от номера серии. Для серии 8, 12 и 16 сторона квадрата соответственно равна 30, 45 и 60 мм. В углах квадратов расположены четыре отверстия диаметром соответственно 8, 10 и 12 мм с межцентровым расстоянием 20, 30 и 40 мм и центральным отверстием с зенковкой 10/16; 14/23 и 18/28.

Установочные детали (колпачковые опоры, диски, пальцы, упоры, штыри т. д.) используются в компоновках приспособлений в качестве баз. Конструкции элементов этой группы аналогичны конструкциям таких же элементов системы УСП.

К направляющим деталям относятся шпонки, штифты, втулки, валики, колонки и другие детали, используемые при компоновке приспособлений для

взаимной ориентации относительно друг друга, а также для ориентации инструмента относительно базовых элементов приспособлений.

К зажимным и крепежным деталям относятся прихваты различных конструкций, прижимы, зажимы, планки, качалки, быстросъемные шайбы, предназначенные для закрепления обрабатываемых заготовок.

Базовые механизированные сборочные единицы используются при сборке механизированных приспособлений для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного и серийного производств. К ним относятся базисные агрегаты, например, самоцентрирующие агрегаты тисочного типа, а также базовые механизированные сборочные единицы, предназначенные для сборки базисных агрегатов, например, тисочные подвижные губки с одним или двумя боковыми, прижимами.

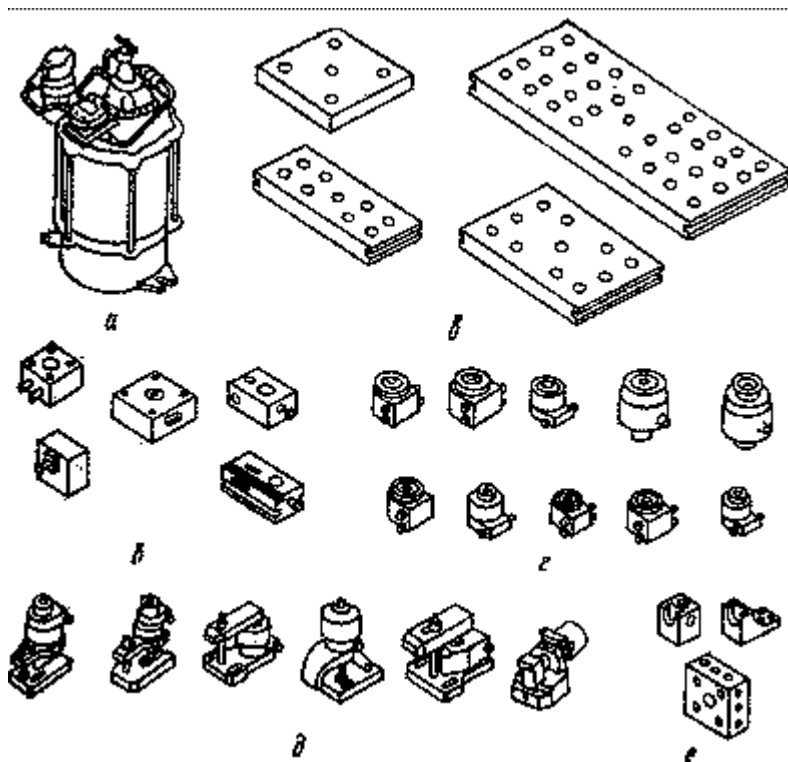


Рис. 15.8. Средства механизации УСПО.

Для компоновки механизированных приспособлений может использоваться гидроплита, на верхней плоскости которой выполнена сетка координатно-фиксирующих и резьбовых отверстий, предназначенных для установки и

закрепления сменных насадок или установочных и зажимных единиц комплекта УСПО. В центре плиты имеется отверстие, с которым связана сетка координатно-фиксирующих отверстий. В корпус плиты встроены гидроцилиндры. По конструкции и назначению гидроплиты УСПО близки к гидроплитам системы СРП. Отличием является отсутствие Т-образных пазов, функцию которых выполняет сетка резьбовых отверстий.

К средствам механизации (рис.15.8) относятся пневмо-гидропреобразователь (рис. 15.8, а), гидроплиты (рис. 15.8, б), гидроблоки (рис. 15.8, в), гидроцилиндры одностороннего и двухстороннего действия (рис. 15.8, г), гидроприхваты различных видов (рис. 15.8, д), трубопроводы, пневмогидравлические источники давления (рис. 15.8, е).

Приспособления для обрабатывающих центров

С целью сокращения времени загрузки заготовок и съема готовых деталей на обрабатывающих центрах используются:

- а) устройства для автоматической смены приспособлений-спутников;
- б) маятниковые и поворотные столы;
- в) системы приспособлений, обеспечивающие быстрое базирование и зажим деталей.

Основными типами приспособлений, применяющихся на обрабатывающих центрах являются универсально-наладочные (УНП), системы сборно-разборных приспособлений (СРП), универсально-сборные (УСП).

Примечание: для каждого типа ОЦ применяется свой тип зажимного устройства (привода), особенно быть внимательным при использовании пневмо и гидроприводов на ИР-500 и на приспособлениях – спутниках.

Приспособления для гибких автоматизированных участков из станков с ЧПУ.

Для автоматических участков из станков фрезерно- сверлильно-расточной группы и ОЦ целесообразно применять приспособления – спутники и агрегатированные быстропереналаживаемые приспособления, komponуемые из базовых агрегатов – плит, из унифицированных установочных и зажимных узлов и элементов.

Заготовки целесообразно группировать по классам. Это обеспечивает возможность применения переналаживаемых групповых приспособлений.

В большинстве случаев базовые плиты спутника имеют на верхней поверхности сетку пазов, отверстий или пазов и отверстий и являются основными универсально-наладочных приспособлений, на которых komponуются установочные и зажимные элементы.

На АУ из токарных станков с ЧПУ для обработки цилиндрических заготовок используют самоцентрирующиеся быстропереналаживаемые патроны. Загрузка заготовок производится роботом.

Заготовки перед установкой в приспособлениях – спутниках предварительно обрабатываются по базовым поверхностям.

Для закрепления заготовок на приспособлениях – спутниках наиболее целесообразно применять гидравлические зажимные устройства – гидравлические цилиндры с упругим элементом. Такие гидроцилиндры присоединяются к источнику давления масла только в момент необходимости зажима – разжима заготовки (рис. 15.9).

При подаче масла от источника давления посредством быстроразъемной гидромуфты (с автоматическим запором масла) через штуцер 10 в поршневую полость гидроцилиндра 1 поршень 2 перемещается, осуществляя через пакет тарельчатых пружин 5, крышку 3 и опору 9 или тягу 4 подвод зажимных элементов и зажим заготовки. В этом случае пакет тарельчатых пружин 5

сжимается, а система крепежных элементов испытывает упругие деформации. Шток поршня фиксируется вручную гайкой 6. Наличие самотормозящего механизма винт – гайка обеспечивает возможность отключения источника давления масла. Для разжима заготовки в гидроцилиндр поступает масло под давлением, шток поршня освобождается от фиксации гайкой 6. Затем источник давления отключают и под действием возвратной пружины 7, опирающейся на фланец 8, поршень со штоком возвращается в исходное положение.

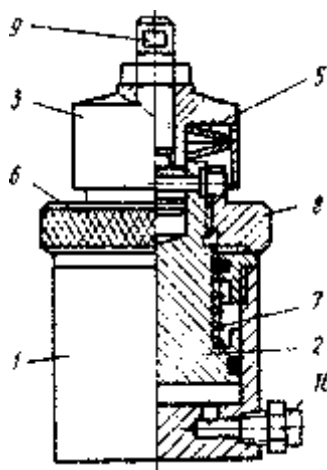


Рис. 15.9. Гидроцилиндр с самотормозящим звеном.

В качестве приспособлений – спутников чаще всего применяются компоновки УСП и УНП, УСПО, СРП. Применение приспособлений-спутников обуславливает необходимость значительного количества спутников и рабочих, занятых компоновкой приспособления, загрузной – разгрузной заготовок и деталей, наличие универсальных станков и обслуживающий их рабочих, наличия слесарно-сборочных мест и мест загрузки-разгрузки что требует значительных капитальных, организационных и текущих затрат.

Поэтому в настоящее время часто применяют систему автоматически переналаживаемых приспособлений с ЧПУ, переналадка установочных и зажимных элементов которых (т. е. регулирования их положения по трем осям координат при смене объекта обработки) осуществляется в любой последовательности по заданной программе, в которую вводят данные о типе и

положении заготовки. Такие приспособления являются стационарными, т. е. их положение в процессе обработки заготовки остается неизменным на станке. Заготовки базируются и закрепляются автоматически. Положение основных и вспомогательных опор, а также точки приложения зажимных усилий вводятся в память системы управления обрабатывающих центров и подают на них детали на стол непосредственного в зону обработки (ИР800МФ4)

Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Панченко К.П. Русские ученые-основоположники науки о резании металлов. - М.: Машгиз, 1953.
2. Развитие науки о резании металлов. Коллектив авторов. - М. : Машиностроение, 1967. 416с.,ил.
3. Армарего И.Дж. А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А.Пастунова - М.: Машиностроение, 1977. 325с. с ил.
4. Клушин М.И. Резание металлов.- М.: Машгиз, 1953. 431с., ил.
5. Клушин М.И. Резание металлов. Элементы теории пластического деформирования срезаемого слоя. - М.: Машгиз, 1958. 454с. ил.
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304с., ил.
7. Подгорков В.В. Теория резания: Учебн. пособие/ Иван. Гос. ун-т, - Иваново: ИвГУ. 1986. 80с., ил.
8. Подгорков В.В. Блинов В.Б., Капустин А.С., Механическая обработка материалов и оборудование машиностроительного производства: Учебн. пособие: Под. ред. Подгоркова В.В. / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. 124с., ил.
9. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение. 1975. – 344с., ил.
10. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. – М.: Машгиз. 1958. – 356с., ил.
11. Научно-технические основы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов // Сборник статей под ред. Клушина М.И. – Иваново: Ив. ТИ. 1968.- 172с., ил.

12. Худобин Л.В., Бердичевский Е.Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. – М.: Машиностроение, 1977. -189с.
13. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. Энтелиса С.Г. и Берлинера Э.М. – М.: Машиностроение 1986. – 352с., ил.
14. Магнитные жидкости в машиностроении // Орлов Д.В., Михалџв Ю.О., Мышкин Н.К., Подгорков В.В., Сизов А.П. / Под ред. Орлова Д.В. и Подгоркова В.В. – М.: Машиностроение. 1993. – 272с., ил.
15. Справочник по триботехнике: В 3т. Т.2: Смазочные материалы... / Под общ. ред. М.Хебды и А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение. 1990. – 416с., ил.
16. Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов. – М.: Машгиз, 1960. – 124с., ил.
17. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. – 472с., ил.
18. Берковский Б.М., Медведев В. Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости. М.: Химия, 1989. – 240с.
19. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О. Магнитные жидкости. – Рига: Зинатне, 1989. – 386с., с ил.
20. Боуден Ф.П. и Тэйбор Д. Трение и смазка. – М.: Машгиз, 1960.
21. Горкунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. -М.: " Издательство МСХА ", 2001, –601с., ил.
22. Грановский Г.И., Грудов П.П., Кривоухов В.А., Ларин М.Н., Малкин И.П. Резание металлов. – М.: Машгиз, 1953. – 364с., ил.
23. Дерягин Б.В. Что такое трение. – М.: АН СССР, 1963.

24. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с., ил.
25. Крагельский И.В., Любарский И.М., Гусяков А.А. и др. Трение и износ в вакууме. – М.: Машиностроение, 1973. 216 с., ил.
26. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М.: Машиностроение 1985. – 64с., ил.
27. Шпеньков Г. П. Физикохимия трения. Минск: изд-во БГУ, 1991. – 395с., ил.