



*Можин Н.А.
Аврелькин В.А.
Федулов Е.А.*

Резание материалов. Режущий инструмент



Иваново 2018

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«Ивановский государственный политехнический университет»
(ИВГПУ)**

Резание материалов. Режущий инструмент

Учебное пособие

Можин Н.А., Аврелькин В.А., Федулов Е.А.

Часть 2

Иваново 2018

Оглавление:

Введение	3
1. Основные виды лезвийного инструмента и способы обработки	4
2. Точение	5
3. Сверление	16
4. Фрезерование	27
5. Протягивание	37
6. Обработка резьб	44
7. Нарезание зубчатых колес	55
8. Абразивный инструмент	67
Литература	84

Введение

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, производящей различные машины, станки, приборы и металлические предметы культурно-бытового назначения. Уровень развития машиностроения в решающей степени определяет состояние всех других отраслей промышленности, определяет производительность труда в производстве совокупного продукта и, в конечном итоге, уровень жизни людей.

Обработка металлов и других конструкционных материалов резанием на металлорежущих станках - весьма распространенный производственный процесс, назначением которого является придание заготовкам с помощью режущего инструмента правильной геометрической формы, требуемых размеров и чистоты поверхности.

Современное состояние науки о резании металлов характеризуется глубокими исследованиями физико-химических явлений в зоне резания, исследуются процессы взаимодействия обрабатываемого материала и инструмента, новые инструментальные материалы, исследуется сверхскоростное резание.

1. Основные виды лезвийного инструмента и способы обработки.

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.

Наиболее распространенным методом получения отверстий резанием является сверление. Движение резания (главное движение) при сверлении – вращательное движение, движение подачи – поступательное. В качестве инструмента при сверлении применяются сверла. Самые распространенные из них – спиральные, предназначены для сверления и рассверливания отверстий, глубина которых не превышает 10 диаметров сверла. Шероховатость поверхности после сверления $R_a = 12,5 \dots 6,3$ мкм, точность по 11-14 качеству.

Фрезерование – один из самых производительных методов обработки. Главное движение (движение резания) при фрезеровании – вращательное; его совершает фреза, движение подачи обычно прямолинейное, его совершает фреза. Фрезерованием можно получить деталь точностью по 6-12 качеству шероховатостью до $R_a = 0,8$ мкм. Фрезерование осуществляется при помощи многозубого инструмента – фрезы. Фрезы по виду различают: цилиндрические, торцевые, дисковые, прорезные и отрезные, концевые, фасонные; по конструкции – цельные, составные и сборные.

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.

2. Точение

Точение - технологический способ обработки резанием наружных и внутренних цилиндрических и конических, а также плоских торцовых поверхностей тел вращения. Точение ведется токарными резцами на металлорежущих станках, как универсальных, так и специальных, в том числе с ЧПУ, а также на карусельных и револьверных станках, на токарных полуавтоматах, автоматах и автоматических линиях. Точение осуществляется на токарных станках. Характерным признаком его является непрерывность резания.

По своему технологическому назначению точение разделяется на предварительное, межоперационное формообразующее, чистовое формообразующее и окончательное формообразующее.

В соответствии с назначением технологической операции обработки заготовок из различных конструкционных материалов ведется с различными режимами резания. Режимы резания при точении зависят также от марки инструментального материала, из которых выполняется рабочая часть резца, и от материала обрабатываемой заготовки.

Классификация. При токарной обработке наружные цилиндрические и конические поверхности обрабатывают проходными резцами; внутренние цилиндрические и конические поверхности растачивают расточными резцами; торцовые плоскости обтачивают подрезными рез-

цами; наружные и внутренние резьбы нарезают резьбовыми резцами; разрезку заготовок на части производят отрезными резцами.

В качестве режущего инструмента при точении используются резцы, конструкция, размеры и форма которых соответствуют выполняемой операции (рис.1.). Так, например растачивание производится расточными резцами, отрезка прутков или готовых деталей – отрезными и так далее.

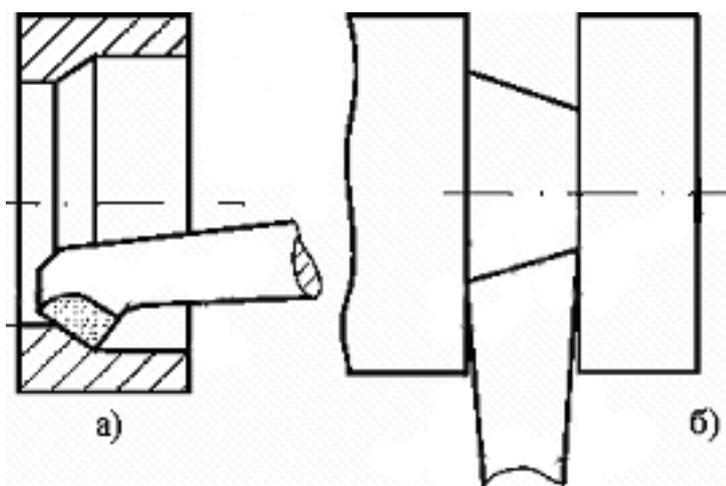


Рис.1. Обработка а) расточным и б) отрезным резцом

В зависимости от направления подачи при точении резцы разделяются на правые и левые. Правые резцы работают с движением подачи, направленным справа налево, т. е. к шпинделю станка, и, наоборот, левые резцы имеют направление движения подачи слева направо - от шпинделя станка.

В зависимости от расположения рабочей части относительно корпуса резцы бывают прямые и отогнутые. У прямых резцов рабочая часть является продолжением корпусной части без искривления общей оси резца. Если геометрические оси корпуса и рабочей части пересекаются под углом (чаще всего равным 45°), то эти резцы называются ото-

гнутыми. Прямые и отогнутые резцы могут быть как правыми, так и левыми.

Проходные токарные резцы благодаря заданной геометрии режущей части могут быть проходного и подрезного типов. Резцы проходного типа имеют главный угол в плане $\varphi < 90^\circ$ (обычно 45, 60 или 75°). Поэтому толщина a срезаемого слоя всегда меньше подачи S , а ширина срезаемого слоя b , численно равная активной длине лезвия резца, всегда больше глубины резания t . Такая связь между толщиной a и шириной b срезаемого слоя, а также между подачей S и глубиной резания t способствует снижению силового и температурного напряжения на лезвии резца.

Резцы с неперетачиваемыми пластинами и их применение. Проходные токарные резцы оснащаются неперетачиваемыми твердосплавными пластинками трех-, четырех- и пятигранной формы. Пластинки выпускают различных типоразмеров с плоскопараллельными верхней и нижней поверхностями, с отформованным задним углом или без него и центральным отверстием или без него, а иногда со стружкозавивающими и стружколомающими канавками вдоль лезвий. Все типоразмеры пластинок имеют закругленные вершины.

Необходимость обеспечения жесткости сборных токарных резцов не позволяет использовать конструкции с плавно регулируемым значением главного угла в плане и на практике реализуется лишь несколько значений угла φ , в частности 45, 60, 75 и 90°. На рисунке 2 схематично показаны резцы с многогранными пластинками разных форм и возможные значения углов φ и φ_1 .

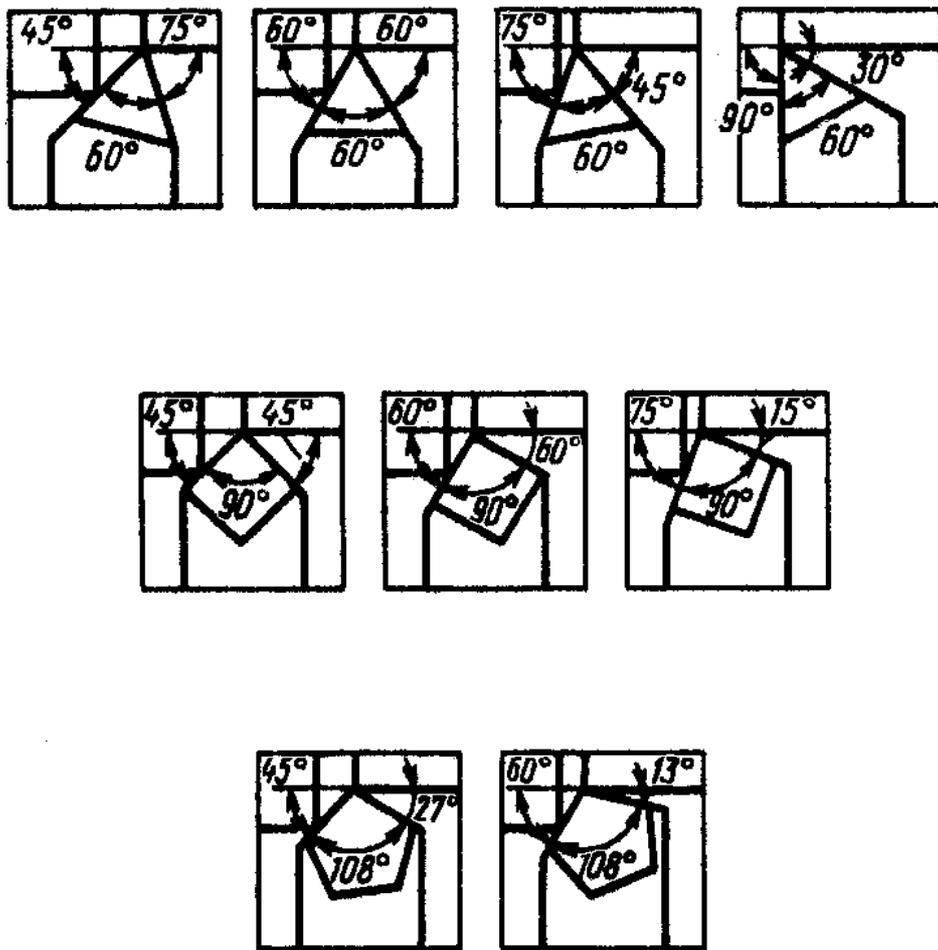


Рис.2. Главный и вспомогательный углы в плане φ и φ_1 на проходных токарных резцах.

Выбор геометрии заточки. Форма режущей части инструмента не только обеспечивает его механическую прочность, теплостойкость, но и влияет на условия процесса резания: степень пластической деформации срезаемого слоя, количество образующейся теплоты, условия ее отвода, силы резания.

Форму передней поверхности резцов и геометрические параметры назначают в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Применяют четыре формы заточки передней поверхности. Плоскую форму с положительным передним углом рекомендуют для обработки заготовок из стали с $\sigma_b > 800$ МПа, из серого чугуна с $HB > 220$, бронзы

и других хрупких материалов. Форма заточки, отличается от предыдущей увеличенным до 14° передним углом, ее рекомендуют для обработки заготовок из стали с $\sigma_b < 800$ МПа и чугуна с $HB < 220$. Криволинейные формы передней поверхности обеспечивают завивание и дробление стружки при обработке вязких металлов.

Геометрические параметры часто оказывают противоречивое действие на процесс резания. Так, уменьшение переднего угла делает режущую часть резца более прочной, но, с другой стороны, увеличивает силы резания, так как затрудняется процесс образования стружки, выделяется большое количество теплоты, интенсивность износа резца возрастает, стойкость снижается. Увеличение переднего угла облегчает процесс резания, но ухудшает условия отвода тепла, уменьшает прочность его режущей части, стойкость резца также уменьшается.

Несколько иначе влияет на стойкость режущего инструмента главный угол в плане φ , с его увеличением стойкость значительно снижается. Так, если у резца увеличить главный угол в плане от 30 до 60° , стойкость твердосплавных инструментов уменьшается приблизительно в пять раз.

Однако работа с малыми углами в плане возможна только при достаточно жесткой системе станок – инструмент – деталь, так как с уменьшением этого угла возрастают силы P_z и P_y , изгибающие резец и заготовку, повышается вероятность возникновения вибраций.

В качестве примера влияния геометрии на стойкость инструмента можно привести случай растачивания отверстий в деталях из твердых сталей (HRC 56-58). Резцы оснащались твердым сплавом ТТ8К6. Уменьшение переднего угла от $+10^\circ$ до -5° привело к увеличению стойкости резца в 1,7-3,0 раза. Уменьшение заднего угла от 10 до 5° позволило увеличить стойкость резца в 3-4 раза.

В данном случае решающим является фактор снижения сил резания, увеличение которых вызывает вибрацию резца, так как при растачивании резец крепится консольно и не обладает достаточной жесткостью.

При точении массивных валков из отбеленного чугуна уменьшением угла в плане от 45° до 15° удалось сократить время обработки в 5 раз за счет увеличения подачи при неизменной толщине срезаемого слоя. Увеличение заднего угла от 5° до 10° в этом случае повысило стойкость резца в несколько раз. Это объясняется особенностями процесса резания чугуна, когда преобладает износ - истирание по задней грани. Увеличение заднего угла снижает интенсивность износа.

Расчет режимов резания. После того как определены оптимальная геометрия инструмента и его материал, выбирают режим резания. Величины V , S и t назначают такими, чтобы наиболее полно использовать режущие свойства инструмента и возможности металлорежущего станка.

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.

Вначале задаются глубиной резания, так как она меньше всего влияет на стойкость инструмента. При выборе глубины резания стремятся снять припуск на обработку за один проход, оставляя лишь небольшую часть его для последующей чистовой обработки.

Далее выбирают подачу, также стремясь принять ее возможно большей с учетом технологических ограничений: чистоты обработанной поверхности, прочности и жесткости заготовки и инструмента.

При принятых глубине резания и подаче, заданной стойкости и прочих условиях резания определяют скорость резания по расчетным эмпирическим формулам. Скорость резания, оказывающую наибольшее влияние на стойкость инструмента, выбирают такой, чтобы стойкость инструмента была близка к оптимальной. По полученному значению скорости резания определяют необходимое число оборотов шпинделя станка.

Производительность процесса резания зависит от скорости резания, подачи, глубины резания. Увеличение глубины резания ограничено припуском на обработку, который по мере совершенствования заготовительных операций непрерывно уменьшается. Увеличение подачи ограничено требованиями к точности формы и размеров изделия, чистоты обработанной поверхности.

С увеличением скорости резания точность формы и чистота обработанной поверхности улучшаются, но резко снижается стойкость инструмента.

Расчет режима резания при точении аналитическим способом. К элементам режима резания относятся: глубина резания t , подача S , скорость резания V .

Глубина резания - величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности, т.е. перпендикулярном направлению подачи. При черновой обработке, как правило, глубину резания назначают равной всему припуску, т.е. припуск срезают за один проход

$$t = h = \frac{D - d}{2}, \text{ мм}$$

где h - припуск, мм;

D - диаметр заготовки, мм;

d - диаметр детали, мм.

При чистовой обработке припуск зависит от требований точности и шероховатости обработанной поверхности.

Подача - величина перемещения режущей кромки инструмента относительно обработанной поверхности в направлении подачи за единицу времени (минутная подача S_m) или за один оборот заготовки. При черновой обработке назначают максимально возможную подачу исходя из жесткости и прочности системы СПИД, прочности пластинки, мощности привода станка; при чистовой обработке - в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Скорость резания - величина перемещения точки режущей кромки инструмента относительно поверхности резания в направлении движения резания за единицу времени. Скорость резания зависит от режущих свойств инструмента и может быть определена при точении по таблицам нормативов или по эмпирической формуле

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v,$$

где C_v - коэффициент, учитывающий условия обработки;

m, x, y - показатели степени;

T - период стойкости инструмента;

t - глубина резания, мм;

S - подача, мм/об;

K_v - обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} K_{\varphi v} K_{rv},$$

где K_{mv} - коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;

K_{nv} - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{uv} - коэффициент, учитывающий материал инструмента;

$K_{\varphi v}$ - коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца;

K_{rv} - коэффициент, учитывающий радиус при вершине резца - учитывается только для резцов из быстрорежущей стали.

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ мин}^{-1}$$

Основное технологическое (машинное) время - время, в течение которого происходит снятие стружки без непосредственного участия рабочего:

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \text{ мин}$$

где L - путь инструмента в направлении рабочей подачи, мм;

i - количество проходов.

$$L = l + y + \Delta, \text{ мм}$$

где l - размер обрабатываемой поверхности в направлении подачи;

y - величина врезания, мм;

Δ - величина перебега, мм, $\Delta = 1 \div 2$ мм.

$$y = t \cdot \text{ctg } \varphi,$$

где t - глубина резания;

φ - главный угол в плане резца.

Расчет параметров режима резания при точении с помощью нормативно-справочной литературы. Точение широко распространенный метод обработки резанием тел вращения. Применяется для удаления наружных, внутренних и торцовых поверхностных слоев заготовок (цилиндрических, конических и фасонных).

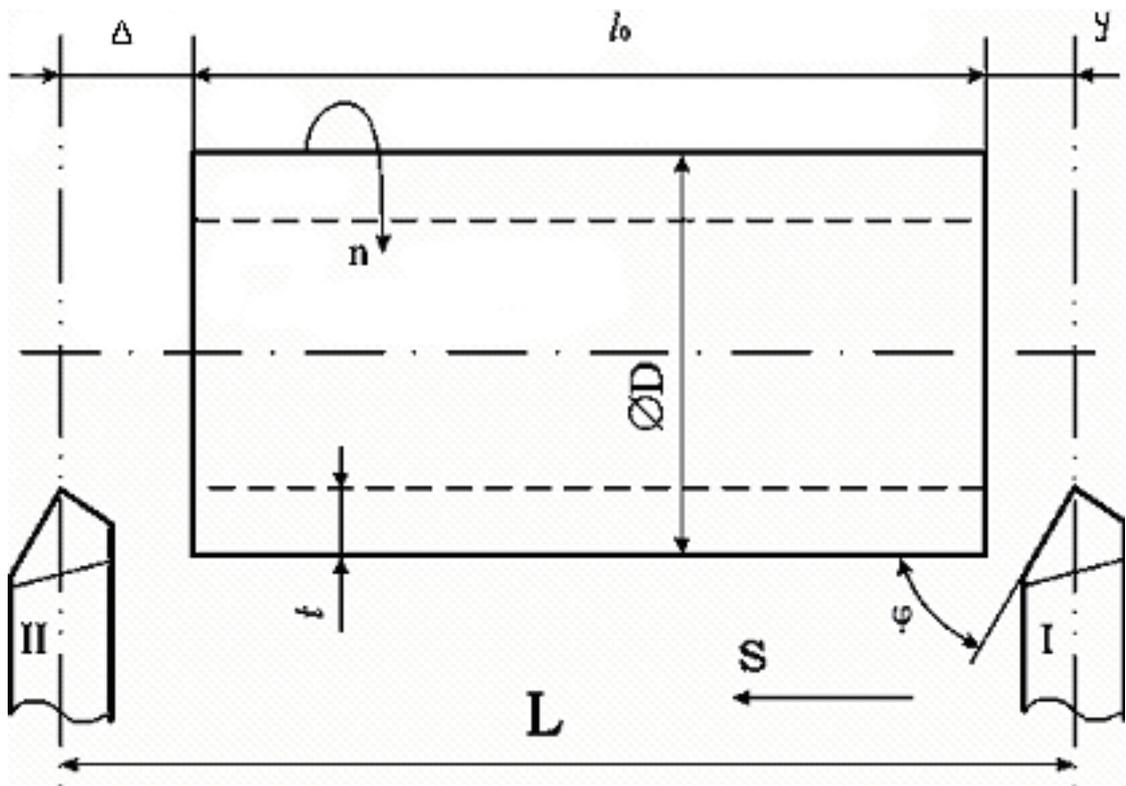


Рис.3. Схема расчета основного технологического времени при точении.

Рассматривают следующие виды точения:

- черновое точение ("обдирка") - удаление дефектных слоев заготовки, разрезка, отрезка и подрезка торцов заготовки. Срезается поверхностная "корка" и основная ($\approx 70\%$) часть припуска на обработку, позволяет получать шероховатость $50 \dots 12,5 R_a$;
- получистовое точение - снятие $20 \dots 25\%$ припуска и позволяет получать шероховатость $6,3 \dots 3,2 R_a$ и точность 10...11-го квалитетов. Заготовка получает форму, близкую к детали.
- чистовое точение - обеспечивает получение шероховатости $3,2 \dots 1,6 R_a$ и точность 7-9-го квалитетов. Деталь получает окончательную форму и размеры;
- тонкое точение - позволяет при срезании очень тонких стружек получать на поверхностях детали шероховатость $0,40 \dots 0,20 R_a$ и точность 5-7-го квалитетов.

Определение режимов резания состоит в выборе по заданным условиям обработки наивыгоднейшего сочетания глубины резания, подачи и скорости резания, обеспечивающих наименьшую трудоемкость и себестоимость выполнения операции.

Режимы резания устанавливаются в следующем порядке:

1. Определение глубины резания t мм и числа проходов i . При черновом точении весь припуск целесообразно снимать за один проход (в ряде случаев, когда имеется лимит мощности станка, бывает выгодно снимать припуск за несколько проходов). Целесообразность этого должна определяться сравнительным расчетом продолжительности оперативного времени. Деление припусков на несколько проходов производится также при получистовом и чистовом точении, а также при обработке резцами с дополнительной режущей кромкой ($\varphi_1=0$).

2. Выбор подачи S мм/об. Подача выбирается в зависимости от площади сечения державки резца, диаметра обработки и глубины резания. Выбранная подача проверяется на допустимость по мощности электродвигателя, прочности державки резца, прочности пластин из твердого сплава и от заданной чистоты поверхности.

3. Определение нормативной скорости резания V м/мин. И соответствующей ей частоты вращения n , мин⁻¹. По значению скорости выбирается потребная частота вращения шпинделя, которая корректируется по паспорту станка.

4. Определяются усилия и мощности резания по выбранным значениям t , S и V .

5. Проверка возможности осуществления выбранного режима резания на заданном станке по его эксплуатационным данным. Если найденный режим не может быть осуществлен на заданном станке, а выбранная подача удовлетворяет, необходимо уменьшить скорость резания. Уменьшение скорости V осуществляется вводом поправочного коэффициента изменения скорости K_v ,

в зависимости от отношения мощности на шпинделе, допустимой станком, к мощности по нормативам.

6. Корректировка выбранного режима по станку в соответствии с его паспортными данными.

Контрольные вопросы:

1. Какое движение является главным при точении?
2. Оценить влияние геометрии режущего инструмента на процесс резания.
3. Определить скорость главного движения резания при обработке заготовки диаметром $D=100$ мм на токарном станке с частотой вращения шпинделя $n=500$ об/мин.
4. Определить основное время при продольном обтачивании на проход шейки вала от $D=70$ мм до $D=65$ мм на длине $l=100$ мм. Частота вращения шпинделя станка $n=600$ об/мин, подача резца $S=0,4$ мм/об. Резец проходной с главным углом в плане $\varphi=45^\circ$.
5. Какие основные параметры влияют на скорость резания при точении?
6. Назвать отличительные особенности расчета режимов резания аналитическим способом от табличного?

3. Сверление

На сверлильных станках проводят сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы и другие виды обработки отверстий. При обработке инструментам придается главное вращательное движение (движение резания) и осевое перемещение (подача).

Сверление - процесс образования отверстия в сплошном материале. На рисунке 4 показана конструкция и геометрия режущей части спирального сверла.

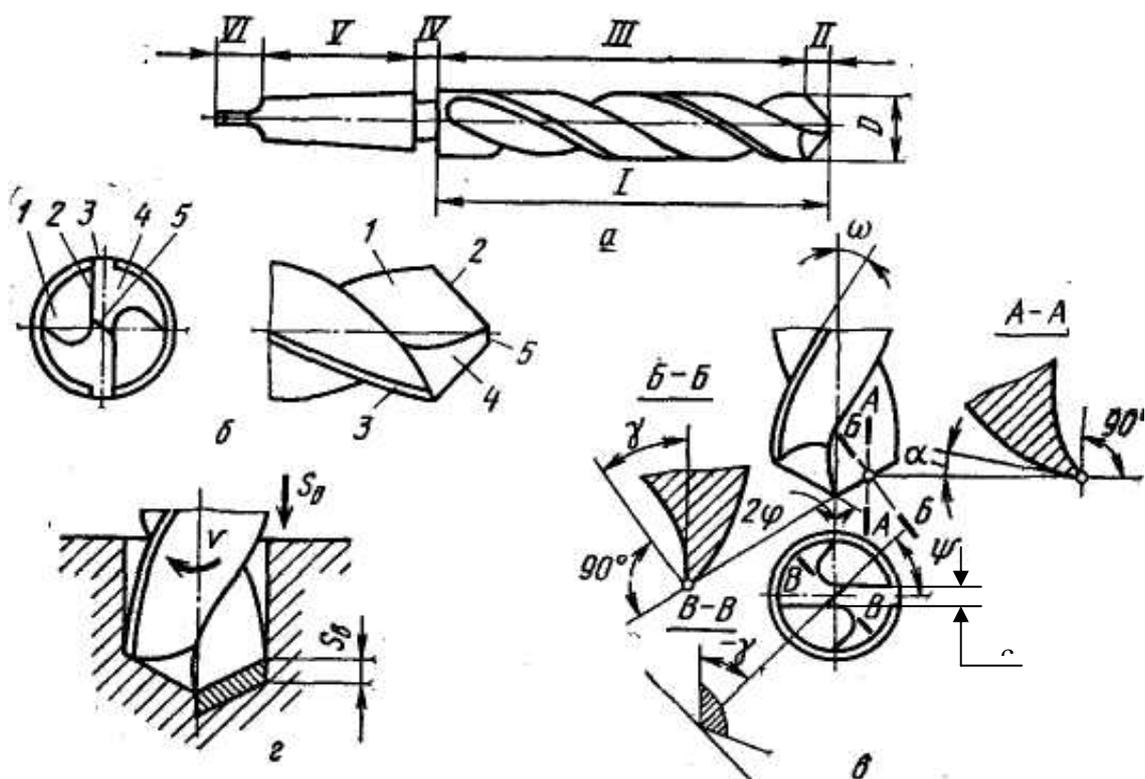


Рис.4. Спиральное сверло и геометрия режущей части

Основные части сверла (см. рис.4, а): рабочая часть I, которая делится на режущую или заборную часть II совершающую основную работу резания, и центрирующую часть III, шейка — выточка IV для выхода шлифовального круга, хвостовик V, как правило, конический с лапкой VI служит для закрепления сверла в шпинделе станка. Диаметр сверла несколько уменьшается к хвостовику для снижения трения сверла о стенки отверстия.

Режущая часть сверла состоит из следующих элементов (рис.4, б): винтовой канавки 1 для отвода стружки, дно которой является передней поверхностью, главного режущего лезвия 2, ленточки 3, направляющей сверло в отверстие, главной задней поверхности 4, поперечного режущего лезвия 5.

Геометрия режущих лезвий сверла показана на рисунке 4, в. Задний угол α измеряется в секущей плоскости A-A параллельной оси

сверла. Для компенсации изменений, происходящих в процессе резания, задний угол затачивают переменным - большим у центра и меньшим на периферии. Передний угол γ измеряют в секущей плоскости ББ, перпендикулярной к главному режущему лезвию сверла. Угол наклона винтовой канавки ω сверла и измеряют между касательной к винтовой поверхности и образующей цилиндра. В силу особенностей конструкции сверла угол ω и передний угол γ не постоянны. Они уменьшаются от периферии к центру сверла. Угол при вершине сверла 2φ (угол заборного конуса) образован главными режущими лезвиями. Как видно в сечении В-В, у поперечного режущего лезвия передний угол γ отрицательный. Поэтому поперечное режущее лезвие работает в трудных условиях, оно скользит по поверхности и пластически деформирует металл, а не режет его.

Элементы режима резания и размеры срезаемого слоя показаны на рисунке 4, г. Скорость резания (м/мин) при сверлении определяют из выражения:

$$v = \pi d n / 1000,$$

где d – наружный диаметр сверла, мм;

n – частота вращения сверла.

Глубина резания: $t = d/2$ при сверлении в сплошном металле и $t = (d - d_0)/2$ при рассверливании отверстия, где d_0 – диаметр рассверливаемого отверстия.

Толщина слоя срезаемого главным лезвием с режущей кромкой 2 (рис.4), равна:

$$a = S \cdot \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Сверление глубоких отверстий, глубина которых больше трех диаметров, обычными спиральными сверлами связано с рядом затруд-

нений; ухудшается отвод стружки и тепла, уменьшается жесткость сверла. Наличие поперечного лезвия даже при идеальной заточке сверла приводит к отклонению сверла оси заготовки. Поэтому глубокие отверстия сверлят специальными сверлами,

Для сверления точных отверстий диаметром до 25 мм применяют так называемые ружейные сверла с одним режущим лезвием. Для направления и облегчения внедрения сверла в металл, вершина его смещена относительно оси на величину приблизительно $0,15d$.

Сквозные отверстия диаметром больше 80 мм сверлят кольцевыми сверлами, состоящими из полого корпуса с винтовыми канавками. На его торцевой части закреплены режущие пластинки, ширина которых больше толщины стенок корпуса. Они вырезают в заготовке кольцевую канавку, равную их ширине, и после сверления остается цилиндрический стержень. Таким образом, преимущество кольцевых сверл состоит в том, что разрушается значительно меньшая часть металла, чем при сплошном сверлении. Охлаждающая жидкость подводится через внутреннюю полость корпуса сверла, а отводится вместе со стружкой по винтовым канавкам.

Износ сверл. Видимые признаки износа лезвий сверла схематично показаны на рис.5. В процессе сверления в той или иной мере изнашиванию подвергаются все лезвия режущей части сверла.

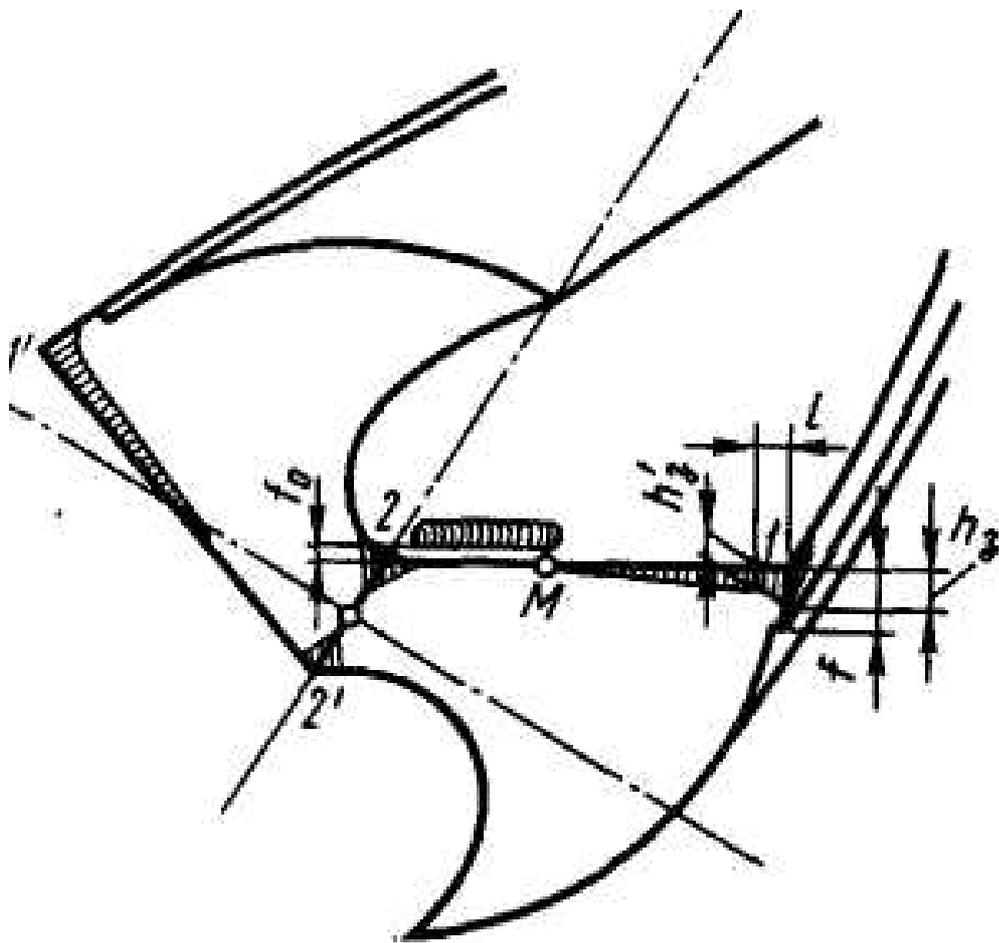


Рис.5. Износ лезвий сверл

При сверлении отверстий с подачами $S < 0,02 D$ наиболее интенсивно изнашиваются задние поверхности главного режущего лезвия на участке между точками M и 1 , причем интенсивность износа на лезвии зависит от марок обрабатываемого и инструментального материалов и условий резания. На этом участке износ h_3 постепенно увеличивается по направлению к точке 1 . Максимальный износ наблюдается в зоне углового перехода от главного к вспомогательному лезвию на ленточках. По значению $h_{3\max}$ судят о пригодности сверла для дальнейшей работы. Допустимый износ $h_{3\text{доп}}$ задних поверхностей сверл оговаривается нормативной документацией. Когда износ $h_{3\text{доп}}$ по уголку больше ширины ленточки f , контроль износа сверла по задней поверхности главного лезвия ведут по износу h'_3 на оговоренном расстоянии l от точки 1 . Допус-

тимый износ по уголку h_3 или по задней поверхности h'_3 принято рассматривать в качестве критерия допустимого износа.

Если сверлить отверстия с повышенными подачами ($S > 0,02D$), то соответственно возрастают действующие на режущей части силы резания и силы трения срезаемой стружки. В результате этого на участке передней поверхности между точками M и 2 сильнее изнашивается передняя поверхность лезвия и на ней образуется лунка (рис.5), причем между изношенной лункой и режущей кромкой сохраняется узкая полоска передней поверхности шириной f_0 . Это вызвано тем, что в процессе сверления вся поверхность этой полоски покрыта образующимся наростом.

Связанное с увеличением подачи S существенное возрастание осевой силы резания, направленной вдоль оси сверла, сопровождается заметным ускорением изнашивания и разрушения режущего лезвия перемычки $2-2'$. Наибольший износ и разрушения наблюдаются в местах сопряжения главных режущих лезвий и лезвия перемычки. При сверлении с большими подачами режущее лезвие перемычки разрушается настолько интенсивно, что это становится одной из основных причин невозможности дальнейшей работы сверла.

Зенкерование, развертывание. Для получения более точных отверстий (8...9 качество) с шероховатостью поверхности $R_a = 6,3...3,2$ мкм применяют зенкерование и развертывание (рис.6). Зенкерование - процесс обработки отверстий, полученных литьем, ковкой, штамповкой или предварительно просверленных. Целью зенкерования является улучшение чистоты обработанной поверхности, повышение точности, а также подготовка отверстия к последующему развертыванию. Зенкер имеет те же конструктивные элементы, что и сверло. Отличие заключа-

ется в том, что у него нет поперечного лезвия, а режущих лезвий не два, а три или четыре.

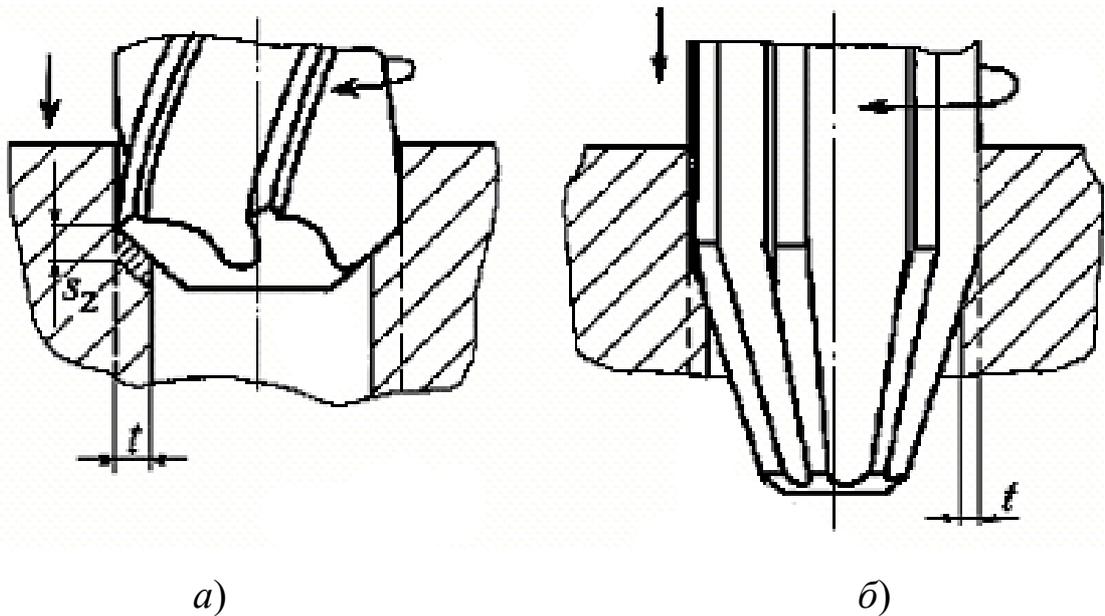


Рис 8. Обработка поверхности: а) зенкером, б) – разверткой

По типу крепления зенкеры различают на хвостовые (рис.7, а) и насадные (рис.7, б); последние применяют для отверстий больших диаметров и чаще всего оснащают твердосплавными пластинками. По виду обрабатываемых поверхностей зенкеры могут быть цилиндрическими, коническими или комбинированными.

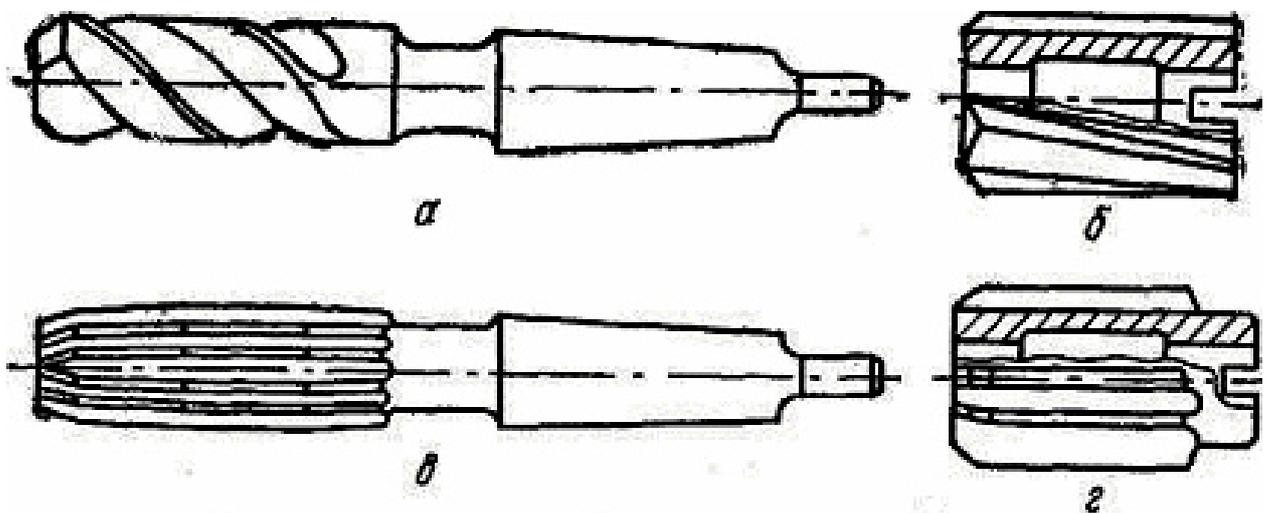


Рис.7. Инструменты для обработки отверстий

Подачу назначают так, чтобы подача на каждый режущий зуб была $S = 0,01 \cdot D_3$, толщина слоя срезаемого одним зубом зенкера $a_z = \frac{(S_0 \sin \varphi)}{3}$.

Развертывание - процесс окончательной обработки отверстия после растачивания или зенкерования, для чего оставляют очень небольшой припуск (0,1-0,3 мм). Развертывание обеспечивает изготовление отверстий повышенной точности (5-7 квалитет) низкой шероховатости до $R_a = 0,4$ мкм. Для повышения точности размеров отверстий припуск снимают последовательно двумя - тремя развертками. Более высокую размерную стойкость имеют развертки, оснащенные твердосплавными пластинками.

Различают развертки ручные и машинные, хвостовые и насадные, цилиндрические и конические. Машинные цилиндрические развертки: хвостовая показана на рисунке 7, в и насадная на рисунке 7, г.

Рабочая часть развертки имеет заборный конус и калибрующую часть, за которой имеется участок с обратным конусом для уменьшения трения.

Рабочая часть развертки предназначена для удаления оставленного на эту операцию припуска, а также для центрирования и направления инструмента по геометрической оси развертываемого отверстия в процессе резания. В соответствии с этим на рабочей части можно выделить два участка (рис.8): режущую часть длиной l_1 и направляющую (калибрующую) часть длиной l_2 . Центрирующие и направляющие функции калибрующей части выполняют расположенные на вершинах зубьев цилиндрические поверхности фасок шириной f .

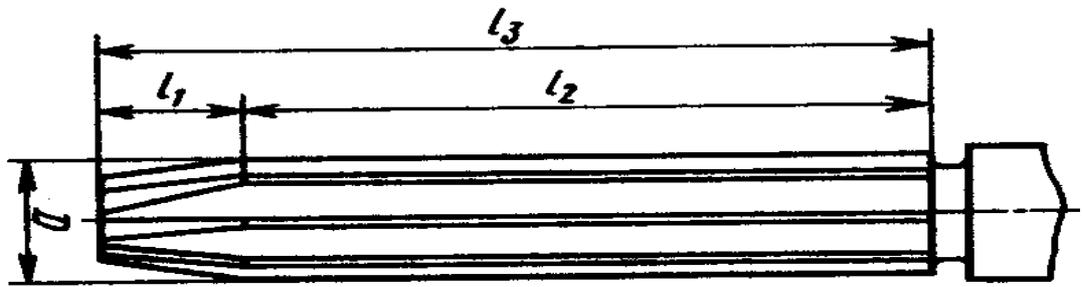


Рис.8. Элементы рабочей поверхности развертки.

В отличие от других процессов, резание осевым инструментом 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.

Передней поверхностью режущих лезвий (а далее и калибрующих) является боковая поверхность канавок, параллельных оси развертки. У стандартных разверток передняя поверхность выполняется плоской, причем плоскость передней поверхности каждого зуба проходит через продольную ось развертки.

Развертки изготавливают как с прямыми, так и с винтовыми зубьями. Последние используют для обработки вязких материалов и

легких сплавов, а также для обработки отверстий, имеющих продольные канавки, пазы, выемки.

Глубина резания t определяется технологическими нормами межоперационных припусков. Приблизительно:

$$t = 0,005 \cdot D.$$

где D – диаметр развертываемого отверстия.

Подача зависит от толщины срезаемого слоя:

$$S_0 = a_z \cdot z / \sin \varphi.$$

Чтобы поддержать ресурс развертки, необходимо, чтобы толщина срезаемого слоя каждым зубом развертки не превышала $a_z < 0,04$ мм при обработке сталей $HB > 170$ и $a_z < 0,07$ мм при $HB < 170$.

Экспериментальные исследования работы сверл, зенкеров, разверток, выполненных из быстрорежущей стали, показывают, что изменение подачи влияет на стойкость инструмента не так, как при точении. При работе осевыми инструмента увеличение подачи ведет к смещению максимумов стойкости инструмента $T(V)$ в сторону больших скоростей резания.

$$T = \left[\frac{C_T D^n}{v \cdot t^x \cdot S^y HB^z} \right]^{1/m}.$$

где x, y, z, m, n – коэффициенты.

В процессе резания режущие части сверл, зенкеров и разверток преодолевают сопротивление, оказываемое обрабатываемым металлом. Осевые силы направлены вдоль оси инструментов. При совершенной технологии изготовления и заточки сверл, зенкеров и разверток расположение всех лезвий и геометрических параметров на их режущей части симметрично относительно оси инструмента. Это обеспечивает действие результирующей осевой силы вдоль их геометрической оси, а также

отсутствие радиальных сил, которые вызывают увод инструмента и искривление оси отверстия. Результаты динамометрических измерений осевой силы P_0 для практически встречающегося диапазона глубин резания t , подач S_0 и диаметров D сверл, зенкеров и разверток аппроксимируется уравнением:

$$P_0 = C_p D^{n_p} t^{x_p} S_0^{y_p} HB^{z_p},$$

Результаты измерений результирующего момента вращения M_B для тех же значений t , S_0 и D у всех рассматриваемых инструментов аппроксимируются уравнением:

$$M_B = C_M D^{n_M} t^{x_M} S_0^{y_M} HB^{z_M}$$

Контрольные вопросы:

1. Основные конструктивные элементы спирального сверла и его режущей части.
2. Какие основные факторы оказывают влияние на стойкость осевого инструмента, а также выбор режимов резания?
3. На вертикально-сверлильном станке 2Н125 обработать сквозное отверстие диаметром 25Н7 ($R_a = 1,6$ мкм), $l = 125$ мм. Материал заготовки СЧ18 (HB210) (рис.9).

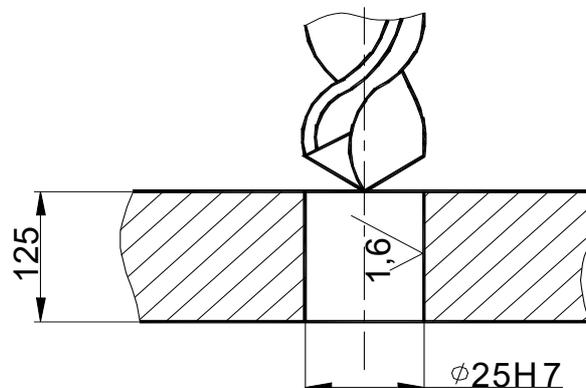


Рис.9. Эскиз обработки

4. В чем Вы видите необходимость использования зенкеров и разверток?

5. Какие поверхности осевого инструмента подвергаются износу в процессе резания и как ведется их переточка?

4. Фрезерование

Фрезерование - один из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом - фрезой.

В зависимости от назначения и вида обрабатываемых поверхностей различают следующие типы фрез: цилиндрические (рис.10, а) – применяют для обработки плоских поверхностей шириной до 120 мм; торцовые (рис.10, б, з) – применяют для обработки плоских поверхностей, лежащих как в одной, так и в разных плоскостях; дисковые (рис.10, в) – для фрезерования канавок шириной от 6 до 16 мм.; концевые (рис.10, г) – применяют для обработки открытых пазов и копировально-фрезерной обработки стенок замкнутых углублений и отверстий в плоских заготовках; угловые (рис.10, д) – для фрезерования профильных угловых канавок; шпоночные (рис.10, е) – для фрезерования шпоночных канавок; фасонные (рис.10, ж) – для фрезерования канавок и выступов фасонного профиля отрезная – для разрезки прутков; прорезная – для фрезерования узких щелей и шлицев винтов и шурупов.

Фрезы изготавливают цельными (рис.10, б-ж) или сборными (рис.10, а, з). Режущие кромки могут быть прямыми (рис.10, д) или винтовыми (рис.10, а). Фрезы имеют остроконечную (рис.10, и) или затылованную (рис.10, к) форму зуба. У фрез с остроконечными зубьями передняя и задняя поверхности плоские. У фрез с затылованными зубьями

передняя поверхность плоская, а задняя выполнена по спирали Архимеда; при переточке по передней поверхности профиль зуба фрезы сохраняется.

Цельные фрезы изготавливают из инструментальных сталей. У сборных фрез зубья (ножи) выполняют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинками из твердых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы пайкой или механически.

На рисунке 10 а, показана цилиндрическая фреза с винтовыми зубьями. Зуб фрезы имеет следующие элементы (рис.11, а): переднюю поверхность 1, заднюю поверхность 5, спинку зуба 5, ленточку 3 и режущую кромку 2.

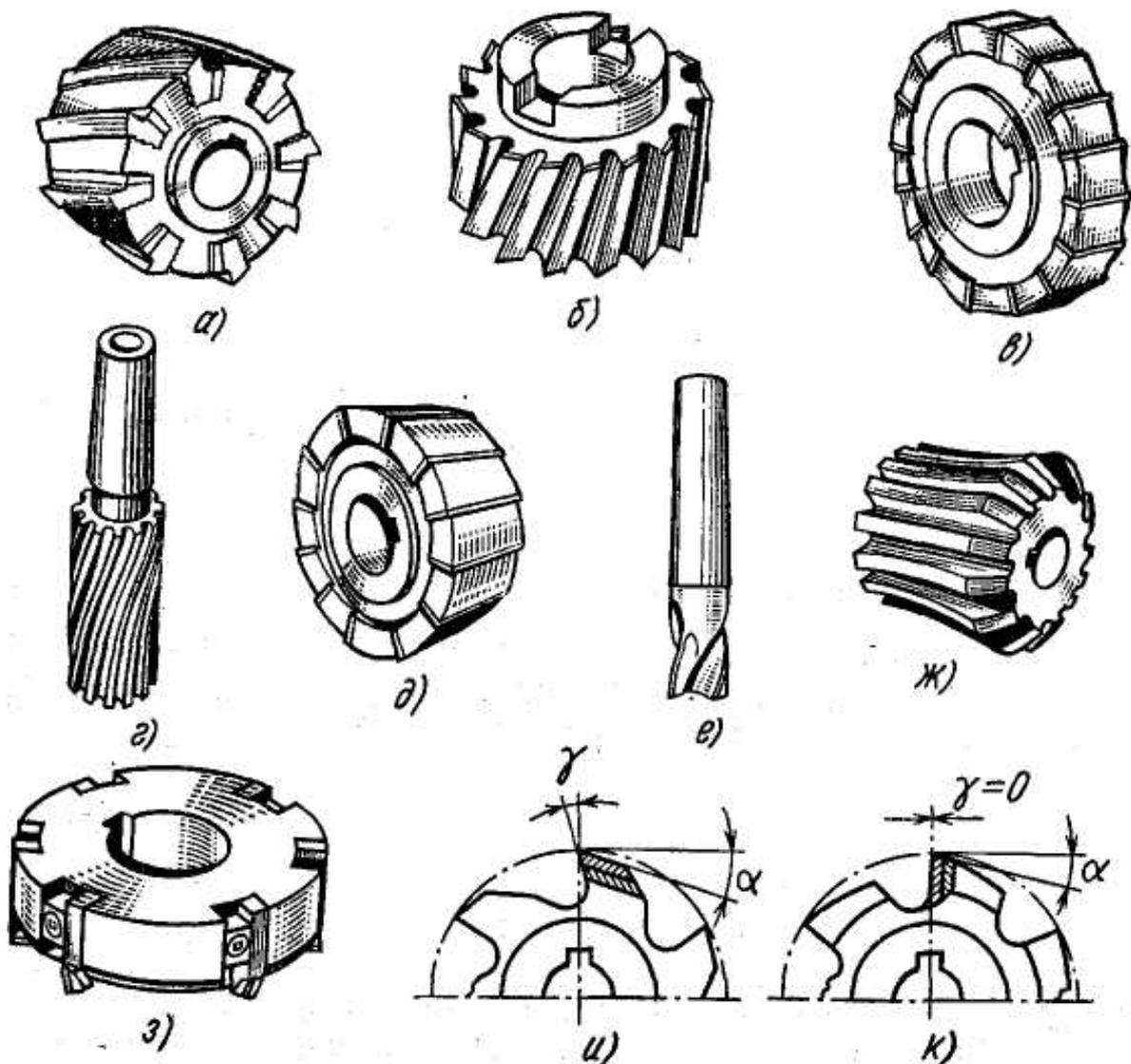


Рис.10. Типы фрез

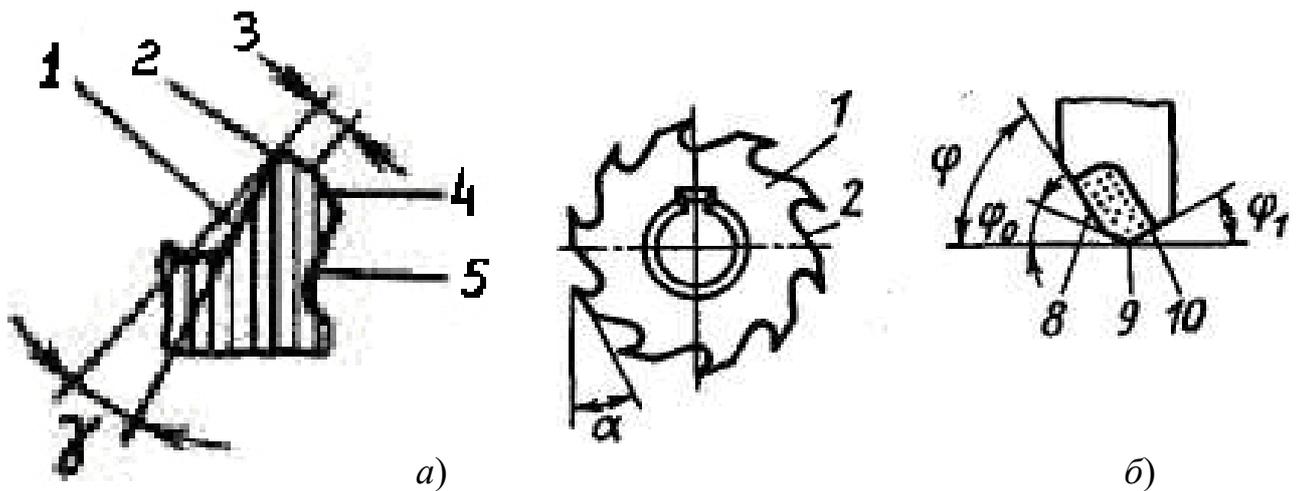


Рис.11.Геометрия фрезы.

У цилиндрических фрез различают передний угол γ , измеренный в плоскости перпендикулярной к главной режущей кромке; главный задний угол α , измеренный в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. Передний угол γ облегчает образование и сход стружки. Главный задний угол α обеспечивает благоприятные условия перемещения задней поверхности зуба относительно поверхности резания и уменьшает трение на этих поверхностях. Угол наклона зубьев обеспечивает более спокойные условия резания по сравнению с прямым зубом и придает направление сходящей стружке.

У зуба торцевой фрезы (рис.11, б) режущая кромка имеет более сложную форму. Она состоит из главной режущей кромки 8, переходной кромки 9 и вспомогательной кромки 10. Зуб торцевой фрезы имеет главный угол в плане φ и вспомогательный угол в плане φ_1 . Чем меньше угол φ_1 , тем меньше шероховатость поверхности.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезированием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением подачи. Подачей может быть вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося

стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенность процесса фрезерования - прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки, до следующего врезания.

На рис.12 показаны схемы фрезерования плоскости цилиндрической (а) и торцовой (б) фрезами. При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу выполняют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности фрезы. При торцовом фрезеровании плоскостей в работе участвуют зубья, расположенные на цилиндрической и торцовой поверхностях фрезы.

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.

Цилиндрическое и торцовое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами: 1) против подачи (встречное фрезерование), когда направление подачи противоположно направлению вращения фрезы (рис.12 в); 2) по подаче (попутное фрезерование), когда направления подачи и вращения фрезы совпадают (рис.12, г).

При фрезеровании против подачи нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличе-

нию шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом фрезерования против подачи является то, что фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке B . Недостатком является наличие начального скольжения зуба по наклепанной поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы.

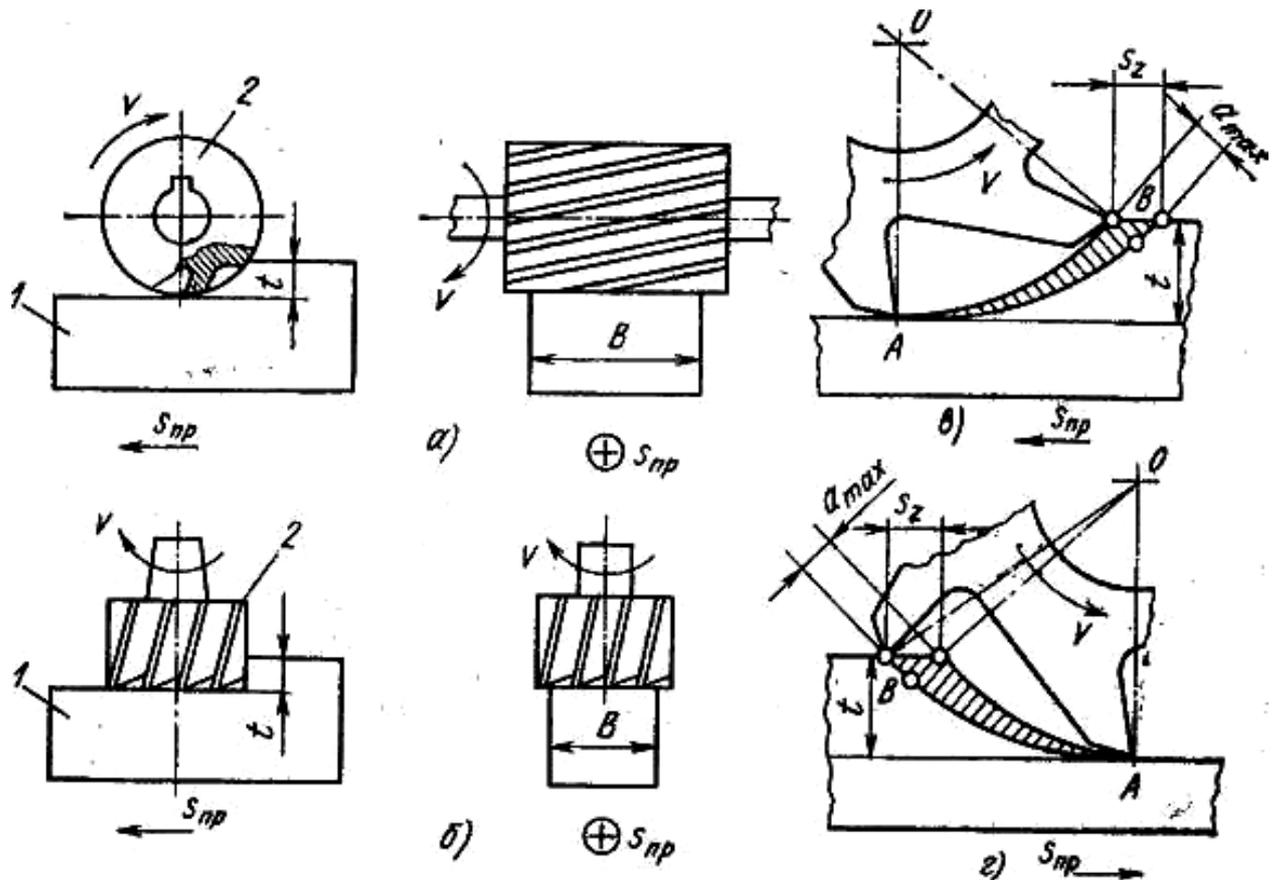


Рис.12. Схемы фрезерования цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами, против подачи (в) и по подаче (г).

При фрезеровании по подаче зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость поверхности.

Плавность работы фрезы зависит от глубины резания, диаметра фрезы и числа зубьев. Она определяется величиной угла контакта фрезы

с обрабатываемой заготовкой. Углом контакта называется центральный угол, соответствующий длине дуги соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой–деталью (рис.13.).

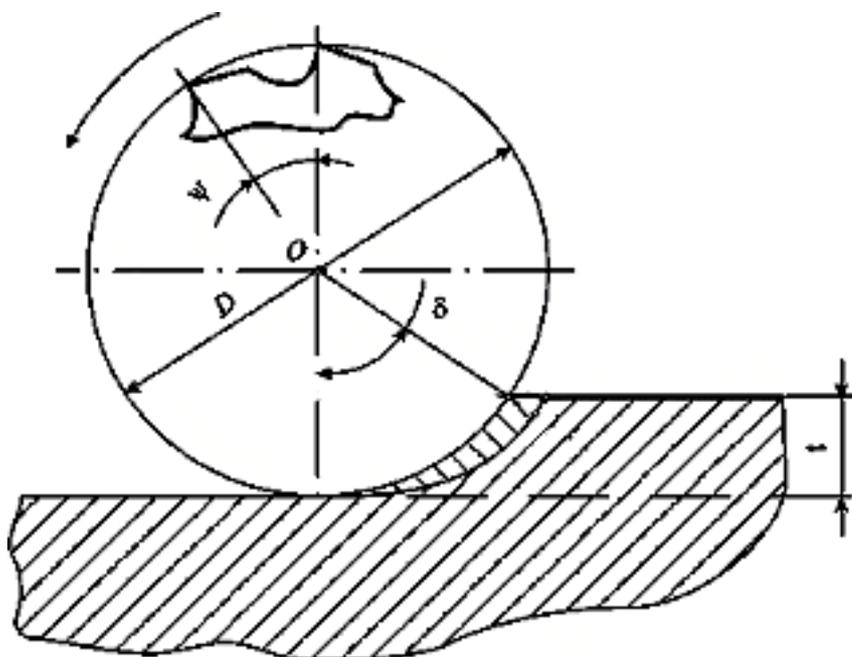


Рис.13. Угол контакта фрезы

К режиму резания при фрезеровании относят скорость резания V , подачу S , глубину резания t , ширину фрезерования B . 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, т. е. окружная скорость вращения фрезы, м/мин,

$$V = \pi \cdot d \cdot n / 1000$$

где D - диаметр фрезы, мм;

n - частота вращения фрезы, мин⁻¹

Подача - величина перемещения обрабатываемой заготовки в минуту (S_M , мм/мин) за время углового поворота фрезы на один зуб (S_z , мм/зуб) или за время одного оборота фрезы (S_0 , мм/об).

Эти подачи связаны между собой зависимостями;

$$S_M = S_0 n = S_z z n,$$

где z - число зубьев фрезы.

Силы резания. В процессе фрезерования каждый зуб фрезы преодолевает силу сопротивления металла резанию. Фреза должна преодолеть суммарные силы резания, которые складываются из сил, действующих на зубья, находящиеся в контакте с заготовкой. При фрезеровании цилиндрической фрезой с прямыми зубьями равнодействующую сил резания R , приложенную к фрезе в некоторой точке A , можно разложить на окружную составляющую силу P , касательную к траектории движения точки режущей кромки, и радиальную составляющую силу P_y , направленную по радиусу. Силу R можно также разложить на горизонтальную P_H и вертикальную P_V составляющие (рис.14, а). У фрез с винтовыми зубьями в осевом направлении действует еще осевая сила P_o (рис.14, б). Чем больше угол наклона винтовых канавок ω , тем больше сила P_o .

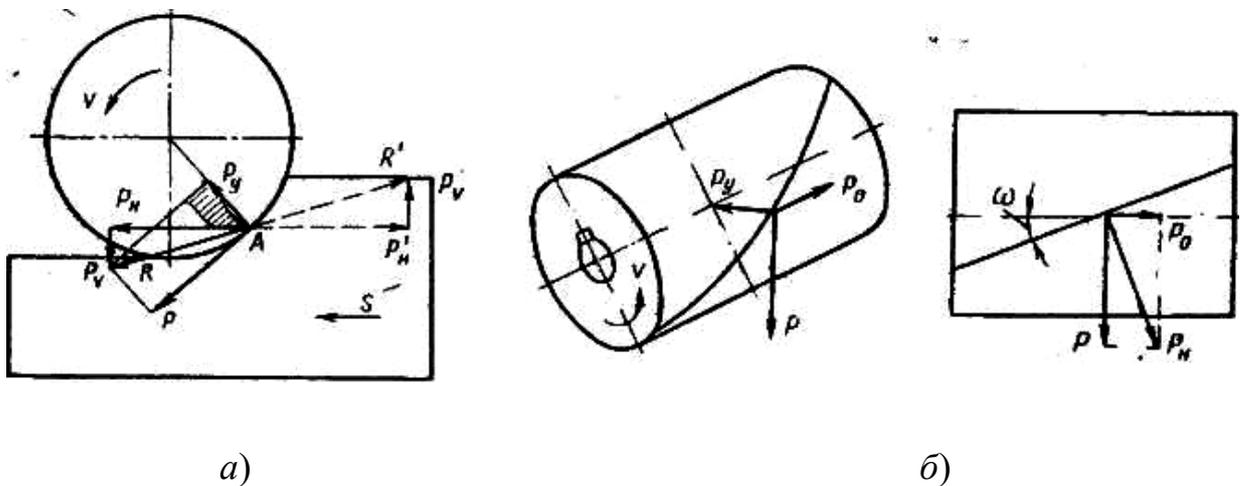


Рис. 14. Силы резания при работе цилиндрической фрезой

По окружной составляющей силе P определяют эффективную мощность Ne и производят расчет механизма коробки скоростей на прочность. Радиальная составляющая сила P_y действует на опоры шпинделя станка и изгибает оправку, на которой крепят фрезу. Горизонтальная составляющая сила P_n действует на механизм подачи станка и элементы крепления заготовки; осевая сила P_o - на подшипники шпинделя станка и механизм поперечной подачи стола; вертикальная составляющая сила P_v - на механизм вертикальной подачи стола. В зависимости от способа фрезерования (против подачи или по подаче) направление и величина сил изменяются.

Сила резания:

$$P = C_p S_z^{x_p} t^{y_p} z B D^{-q_p},$$

где C_p - коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки.

Коэффициент C_p и показатели степеней x_p, y_p, q_p приведены в справочниках.

Эффективная мощность, кВт

$$Ne = \frac{P v}{(60 \cdot 10^2)}$$

За один полный оборот фрезы перемещается перпендикулярно своей оси на размер подачи S_o . При фрезеровании стружка, срезанная за один оборот фрезы, представляет собой не ленту, как при точении или сверлении, а отдельные, не связанные между собой элементы. Поперечное сечение каждого срезанного элемента представляет собой фигуру, ограниченную с одной стороны участком обрабатываемой поверхности длиной S_z , а с двух других сторон отрезками трахоидальных траекторий движения двух смежных зубьев фрезы (рис.15). Размеры поперечного сечения элемента стружки определяются: а) режимными параметрами -

подачей на зуб S_z и глубиной фрезерования t (чем больше S_z и t , тем больше размеры и масса срезанной стружки); б) конструктивными параметрами - числом зубьев z и диаметром D фрезы (чем меньше z и больше D , тем больше размеры и масса срезанной стружки).

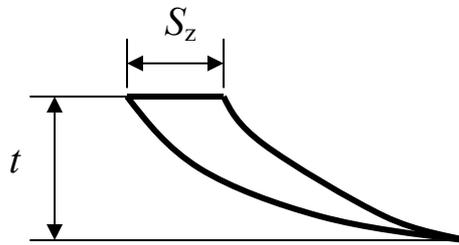


Рис.15.Элемент срезаемого слоя

При фрезеровании изнашиванию подвергаются задние поверхности главных лезвий на цилиндрической части и вспомогательных лезвий на торцевой части зубьев фрез (рис.16). Наиболее интенсивному изнашиванию подвергаются угловые участки сопряжения главных и вспомогательных лезвий. Если в резании участвуют только главные лезвия на цилиндрической части зубьев фрез (рис.15, а), измерение износа ведется по значению h_3 .

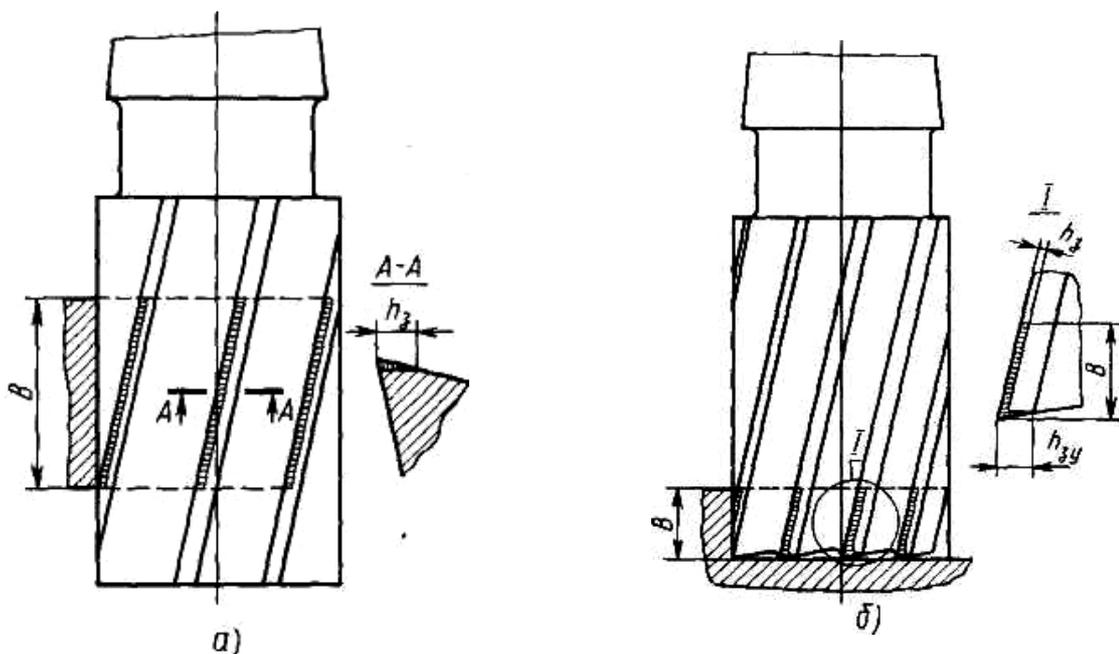


Рис.16. Износ задних поверхностей лезвий зуба фрезы

Когда износ достигает максимально допустимого значения, дальнейшая работа прекращается и фреза подвергается восстановительной переточке по задней поверхности лезвия.

Если в резании одновременно участвуют главные лезвия на цилиндрической части и вспомогательные лезвия на торце зубьев фрез (рис.15, б), большой износ наблюдается на угловом переходе и измерение износа ведут по значению $h_{3,y}$ на уголке.

Зависимость скорости резания v на стойкость T фрезы графически представлена на рис.17.

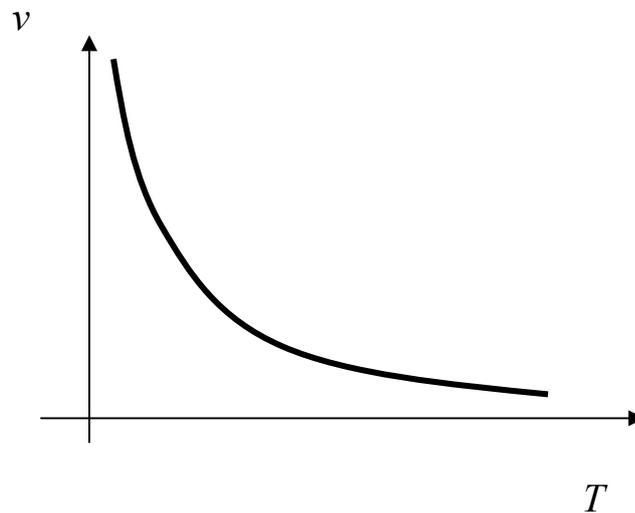


Рис.17. Зависимость скорости резания на стойкость фрезы

Стойкость фрезы, определяется:

$$T = \left[\frac{C_v D^q}{v t^x S_z^y B^n z^u} \right]^{\frac{1}{m}},$$

Контрольные вопросы:

1. Основные виды фрез и область их применения.
2. По какой поверхности затачивают затылованные зубья и почему?
3. Особенности встречного и попутного фрезерования?

4. Как влияет изменение вспомогательного угла в плане φ_1 торцевой фрезы на шероховатость обрабатываемой поверхности?

5. Какие поверхности фрезы подвергаются износу?

6. На вертикально-фрезерном станке 6Р12 производится торцевое фрезерование плоской поверхности шириной $B = 80$ мм, длиной $l = 400$ мм, припуск на обработку $h = 1,8$ мм. Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания с использованием таблиц нормативов, определить основное (технологическое) время.

5. 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. Протягивание осуществляется при прямолинейном поступательном главном движении резания. Протяжка (прошивка) - это стержень, на котором расположен ряд зубьев, имеющих режущие лезвия.

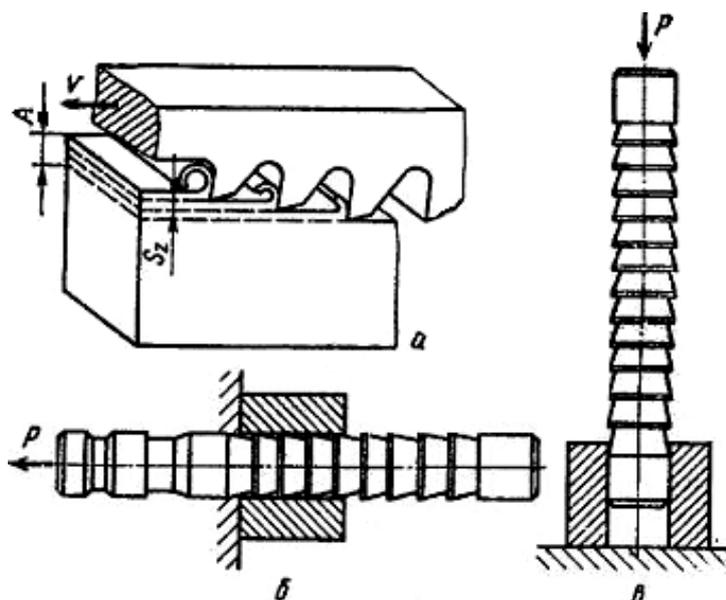


Рис. 18. Схемы работы протяжек

Протяжка работает следующим образом: каждый последующий зуб протяжки имеет превышение над предыдущим (подъем на зуб S). Общий припуск A срезается одновременно многими зубьями (рис.18, а) за один (редко два-три.) рабочий ход инструмента.

Протяжку протягивают через предварительно подготовленное отверстие, и тело ее работает на растяжение. Прошивку проталкивают через отверстие (рис.18, в) и она работает на сжатие. Ее длина ограничена во избежание продольного изгиба.

В зависимости от формы обрабатываемого отверстия или наружной поверхности различают протяжки круглые, шлицевые, шестигранные, шпоночные и др.

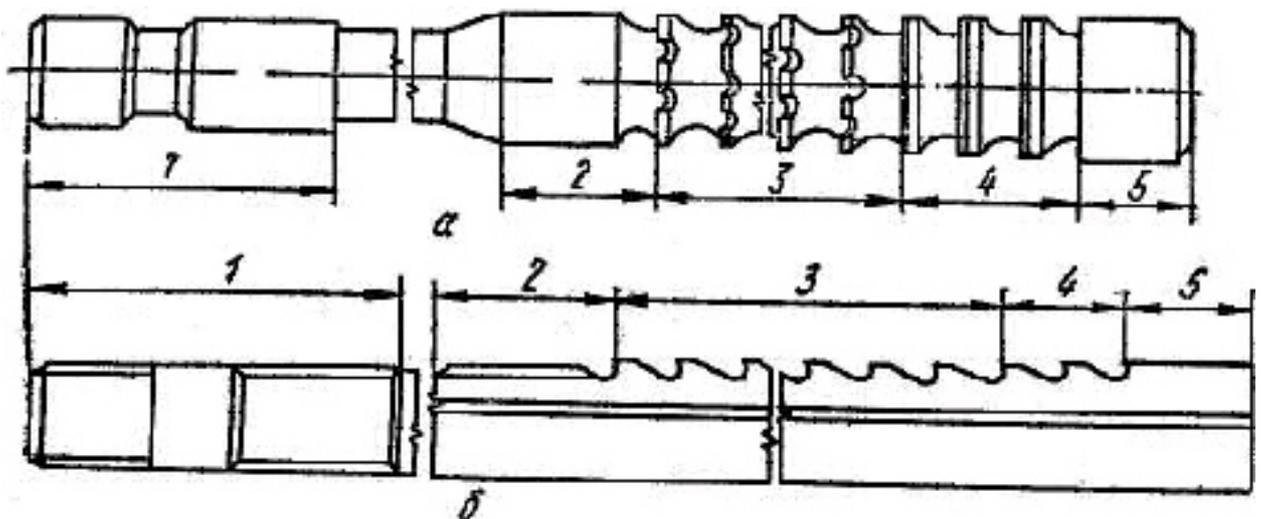


Рис.19. Конструкция цилиндрической (а) и шпоночной (б) протяжек

На рисунке 19 показаны протяжки для обработки круглого отверстия и шпоночных канавок. Хвостовик 1 служит для закрепления протяжки в патроне протяжного станка. Передняя направляющая часть 2 служит для центрирования заготовки относительно оси протяжки и направления протяжки в начале резания. По своей форме и размерам на-

правляющая часть соответствует подготовленному под протягивание отверстию в заготовке.

На режущей части 3 размеры каждого следующего зуба (или группа зубьев) больше предыдущего на величину, определяющую толщину срезаемого слоя (подача на зуб).

Калибрующая часть 4 протяжки служит для окончательной отделки обрабатываемой поверхности. По размеру и форме зубья на калибрующей части одинаковы и соответствуют последнему зубу режущей части, они служат также запасом на переточку, после которой часть из них переходит в режущие зубья. Задняя направляющая часть 5 предохраняет протяжку от перекоса при выходе из обрабатываемого отверстия последнего калибрующего зуба.

Передние и задние углы протяжки измеряют в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке. Передний угол γ выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, задний угол α – в зависимости от требуемой точности обработки.

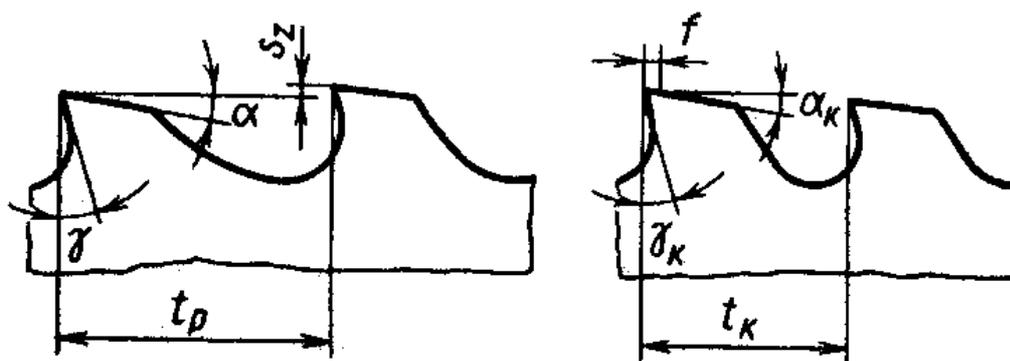


Рис.20. Геометрия зуба.

На задних поверхностях калибрующих зубьев в ряде случаев шлифуют фаску (ленточку) шириной $f = 0,2 - 1,2$ мм, у которой задний угол $\alpha_k = 0$.

Шаг режущих зубьев t_p протяжки определяют в зависимости от длины L протягиваемой поверхности, при этом исходят из того, чтобы в резании участвовало не менее трех зубьев.

Главный угол в плане φ измеряется между главной режущей кромкой (или касательной к ней) и направлением возрастания высоты зуба.

Вспомогательный угол в плане φ_1 измеряется между линией, на которой лежит вектор скорости подачи и вспомогательной режущей кромкой.

Угол наклона главных режущих кромок измеряется между главной режущей кромкой и плоскостью, перпендикулярной вектору скорости резания.

Различают следующие основные схемы резания: а) профильную; б) генераторную и в) прогрессивную (переменного резания).

Профильная схема резания (рис.21, а) характеризуется тем, что, начиная с первого режущего зуба, контур всех зубьев подобен окончательному профилю обработанной поверхности. В результате все зубья режущей части, за исключением последнего, выполняют предварительную обработку по формированию заданного профиля на детали. Точность и качество обработанной поверхности на детали определяются последним зубом режущей части. Длина главной режущей кромки этого зуба максимальна, и для уменьшения силы резания подъем на зуб здесь должен быть минимальным. Основным недостатком профильной схемы резания является технологическая сложность изготовления профиля зубьев режущей части.

Стружка получается тонкая и широкая, плохо размещается в стружечной канавке.

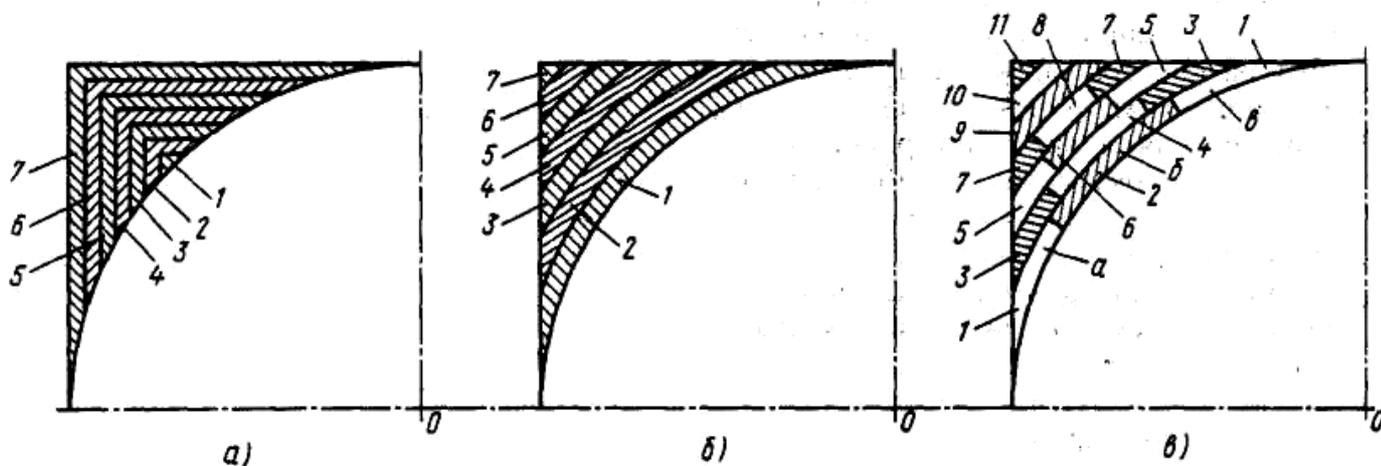


Рис.21. Схемы резания.

При генераторной схеме резания (рис.21, б) каждый зуб частично формирует окончательный профильный контура обрабатываемой детали своим вспомогательным лезвием. Наибольшую длину главной режущей кромки имеет первый зуб режущей части. Далее она уменьшается и минимальна для последнего зуба. Связанное с этим постепенное уменьшение силы резания благоприятно сказывается на условиях работы зубьев калибрующей части и позволяет повысить точность и качество обработанных поверхностей. Кроме того, зубья протяжек, предназначенных для работы по генераторной схеме резания, легче изготовлять и перетачивать.

При прогрессивной схеме резания (схеме переменного резания) срезание припуска производится зубьями, имеющими укороченную длину главных режущих кромок. При работе по прогрессивной схеме резания срезаемый слой разделяется по периметру между зубьями нескольких секций, срезающих стружку относительно большой толщины, но небольшой ширины, что облегчает резание. Протяжки обладают

большой стойкостью, однако конструкция и изготовление их сложнее, чем протяжек, работающих по профильной схеме резания.

Это позволяет ликвидировать основной недостаток генераторной схемы - большую длину режущей кромки первых зубьев и ее кривизну, затрудняющую свертывание образовавшейся стружки в валик. Режущее лезвие протяжки делят по длине, и подъем на зуб a_z выполняют только на участках а и в первого зуба (рис. 21, в). Подъем на зуб a_z , на участке б выполняют на втором режущем зубе. Таким образом, вместо одного зуба, как при резании по генераторной схеме, срезание слоя a_z производится двумя зубьями режущей части. Это позволяет распределить нагрузку, приходящуюся на зубья протяжки равномерно вдоль всей длины режущей части, но ведет к увеличению необходимого числа режущих зубьев. Например, припуск срезается не семью зубьями, как по другим схемам резания, а одиннадцатью (рис.21, в). Использование схемы прогрессивного резания ведет к увеличению общей длины протяжки, а также усложняет технологию изготовления и заточки режущих зубьев.

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.

Подача на зуб, или толщина срезаемого слоя колеблется от 0,02 до 0,2 мм.

Скорость резания V , углеродистых конструкционных сталей быстрорежущими протяжками, определяется:

$$V = \frac{94 h_3^{1,06} \alpha^{0,35}}{T^{0,7} a_z^{0,65}}.$$

где h_3 – износ по задней поверхности лезвий режущих зубьев;

α – задний угол;

a_z – толщина слоя срезаемого одним зубом;

T – стойкость протяжки.

При типичных для протягивания толщинах срезаемого слоя 0,02 – 0,15 мм режущие зубья протяжек изнашиваются только по задним поверхностям. Протяжки перетачиваются только по передней поверхности.

При известной скорости резания, стойкость каждого зуба протяжки составляет:

$$T = \frac{600 h_3^{1,5} \alpha^{0,5}}{v^{1,41} a_z^{0,93}}.$$

Принципиальная кинематическая схема при протягивании не предусматривает движения подачи. Характерной конструктивной особенностью исполнения режущих зубьев протяжек является последовательное возрастание их высоты или диаметрального размера. Разность высот или полуразность диаметров каждой пары смежных рабочих зубьев протяжки равна толщине слоя, срезаемого последующим зубом этой пары. Подъем каждого очередного режущего зуба над впереди расположенным, по сути, эквивалентен подаче на зуб.

Глубина резания при протягивании определяется длиной главного режущего лезвия. В общем случае глубина резания количественно равна проекции главного режущего лезвия на плоскость, перпендикулярную направлению главного движения, причем измерение в этой плоскости производится перпендикулярно направлению подачи.

Сила резания при протягивании складывается из сил, приложенных ко всем одновременно участвующим в резании зубьям. Сила действующая на каждый зуб протяжки, может быть разложена на две составляющие: P_z , направленную вдоль оси, и P_y , направленную перпендикулярно к оси протяжки.

Практическое значение имеет лишь осевая составляющая P_z , направленная в сторону, противоположную движению протяжки. Она создает напряжения в протяжке. Для круглых протяжек, сила резания, Н,

$$P_z = C_{p_z} S_z^{x_{pz}} D z K_\gamma K_\alpha K_u K_o,$$

где C_p – коэффициент, характеризующий материал заготовки и условия обработки; S_z – подача на зуб, x_{pz} – показатель степени при подаче; D – диаметр отверстия, мм; z – число одновременно работающих зубьев протяжки; K_γ , K_α , K_u , K_o – соответственно коэффициенты, характеризующие влияние переднего и заднего углов, износа и смазочно-охлаждающей жидкости.

Контрольные вопросы:

1. Основное назначение протяжек?
2. В чем отличительная особенность между протяжкой и прошивкой?
3. Основные конструктивные элементы протяжек и геометрия ее режущей части?
4. Какие схемы резания Вам известны и в чем их отличительная особенность?
5. От чего зависит усилие протягивания?

6. Обработка резьб

Резьбу на крепежных деталях изготавливают *методом резания*, когда формообразование профиля резьбы осуществляют резьбонарезными инструментами, и *методом пластического выдавливания*, когда образование резьбы достигается с помощью резьбонакатных инструмен-

тов. В резании металлов рассматривается формообразование резьбы лишь методом резания.

Все резьбонарезные инструменты могут быть разделены на три группы: 1) резьбовые резцы; 2) резьбовые гребенки, метчики, круглые плашки, самооткрывающиеся резьбонарезные головки; 3) резьбовые фрезы.

Резьбонарезными резцами нарезают внутренние и наружные резьбы в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также при проведении ремонтных работ.

Круглыми плашками, метчиками и самооткрывающимися резьбонарезными головками нарезают внутренние и наружные резьбы на болтах, винтах, шпильках, в гайках и на деталях машин в условиях крупносерийного и массового производства.

Резьбовыми фрезами обрабатывают наружные и внутренние резьбы на деталях машин, в частности на валах, когда использование других видов резьбонарезного инструмента невозможно или нерентабельно.

Характерная особенность резьбонарезания состоит в том, что наряду со срезанием припуска режущий инструмент должен обеспечивать точность формы заданного профиля резьбы характеризуемого шагом P , а также наружным D , средним D_2 и внутренним D_1 диаметрами.

Нарезание внутренних и наружных резьб токарными резцами, гребенками, метчиками, круглыми плашками и самооткрывающимися резьбонарезными головками основано на принципиальной кинематической схеме, предусматривающей три одновременных движения: 1) вращательное движение D_r вокруг оси x , являющееся главным движением, характеризующимся скоростью резания V ; 2) поступательное движение D_s вдоль оси y , являющееся вспомогательным движением, характери-

зующимся подачей на один проход резца или на один режущий зуб других резбонарезных инструментов второй группы (в последнем случае подача на зуб S_z , подобно тому, как это имело место на протяжках, достигается благодаря конструкции режущей части, обеспечивающей разность высот соседних зубьев); 3) поступательное движение вдоль оси x , являющееся дополнительным формообразующим движением D_u , характеризующимся шагом P нарезаемой резьбы.

Нарезание резьбы резцами. Для нарезания резьбы с неискаженным профилем главная режущая кромка резбового резца должна целиком лежать в плоскости (обычно горизонтальной), проходящей через ось вращения заготовки, и быть расположена строго симметрично относительно плоскости, перпендикулярной оси обрабатываемой заготовки.

Резьбы с малыми шагами ($P < 1$ мм) нарезают профильными резбовыми резцами. Резьбы со средними и крупными шагами ($P > 1$ мм) нарезают комплектом резцов, состоящим из предварительного резца, вырезающего основную часть припуска, и профильного чистового резца, окончательно формирующего профиль резбовых витков.

Резбовой резец имеет профиль, соответствующий профилю резьбы. Вершина резца, формирующая впадину резбового профиля, в процессе резания находится в тяжелых условиях нагружения, и прочность ее оказывается недостаточной при нарезании резьбы сразу на всю глубину профиля.

Нарезание резьбы профильным резцом производится за несколько проходов.

Как видите на рисунке 22 приведена схема установки и перемещения профильного резбового резца в процессе обработки. Здесь же показана циклограмма перемещения резца. Перемещение A_2 является рабочим проходом, во время которого снимается очередной слой ме-

талла в нитке резьбы. Оно складывается из длины нарезаемой резьбы l_3 , а также недобега Δl_1 и перебега Δl_2 . Обратное перемещение A_4 по длине равно рабочему.

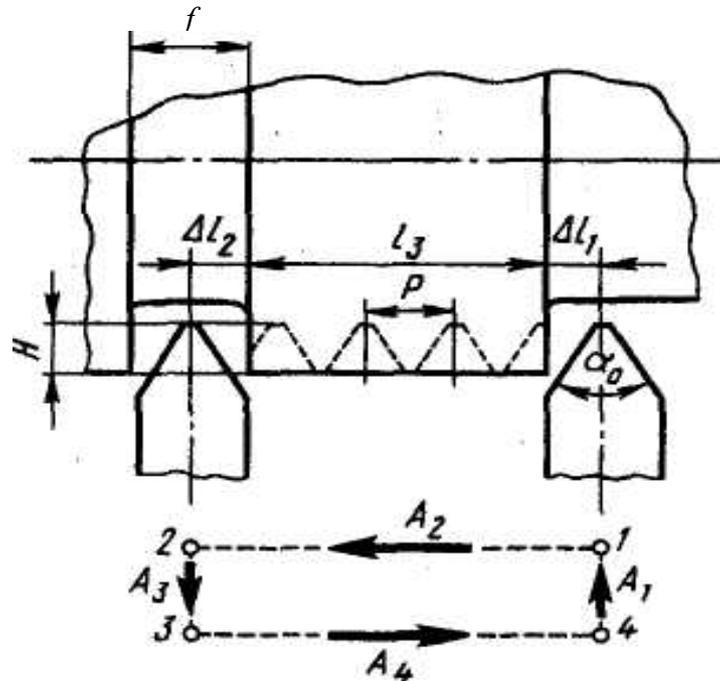


Рис.22. Схема работы профильного резьбового резца

Таким образом, срезание с заготовки всего припуска и формирование готовой винтовой канавки полного резьбового профиля осуществляется за i повторных рабочих проходов резца. В промежутках между рабочими проходами поперечным перемещением суппорта станка резьбовому резцу сообщается поперечная подача:

$$S = H/i,$$

где H - высота нарезаемого резьбового профиля.

На рисунке 23 показана схема последовательного срезания припуска профильным резьбовым резцом, на котором показаны положения режущих кромок резца в процессе формирования полного профиля резьбовой канавки.

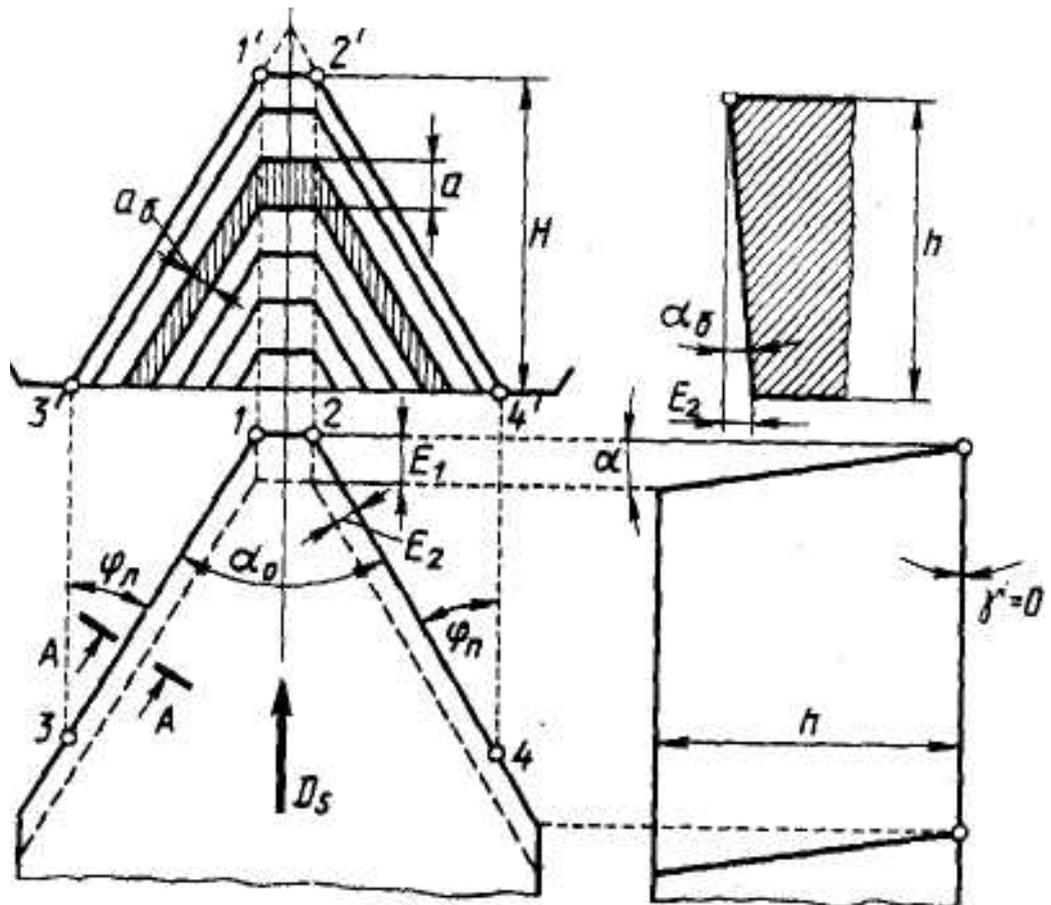


Рис.23. Схема резания

У профильного резьбового резца в резании и профилировании нарезаемой резьбы участвуют три режущие кромки: 1-2 на лезвии вершины резца, 1-3 – на левом прямолинейном профильном лезвии, 2-4 - на правом прямолинейном профильном лезвии. Все три режущих кромки являются главными. Вспомогательных режущих кромок и соответственно вспомогательных лезвий профильные резьбовые резцы не имеют.

По общему определению главный угол в плане φ измеряется между главной режущей кромкой и линией, на которой лежит вектор скорости подачи V_S . Следовательно, на правой и левой боковых главных режущих кромках главный угол в плане $\varphi_n = \varphi_l = \alpha_0/2$, где α_0 – угол

при вершине нарезаемого резьбового профиля (для метрической резьбы $\alpha_0 = 60^\circ$).

На лезвии 1-2 вершины резца задний угол $\alpha = 8 \dots 10^\circ$ (рис.23). Он измеряется в плоскости, перпендикулярной кромке 1-2, и одинаков в каждой ее точке. На левой и правой профильных сторонах 1-3 и 2-4 задний угол α_6 измеряется в плоскостях, перпендикулярных боковым лезвиям.

Резьбовые гребенки, предназначенные для нарезания резьбы за один рабочий проход (рис.24), имеют один режущий гребенчатый профиль. На метчике (рис.25) и на круглой плашке (рис.26) имеется несколько (обычно три-четыре) режущих гребенчатых профиля, которые образуются разделением сплошной резьбовой поверхности продольными канавками (на метчиках) или отверстиями (на плашке). На самооткрывающейся резьбонарезной головке (рис.27) на общем корпусе смонтированы четыре круглые резьбовые гребенки, каждая из которых имеет по одному режущему профилю.

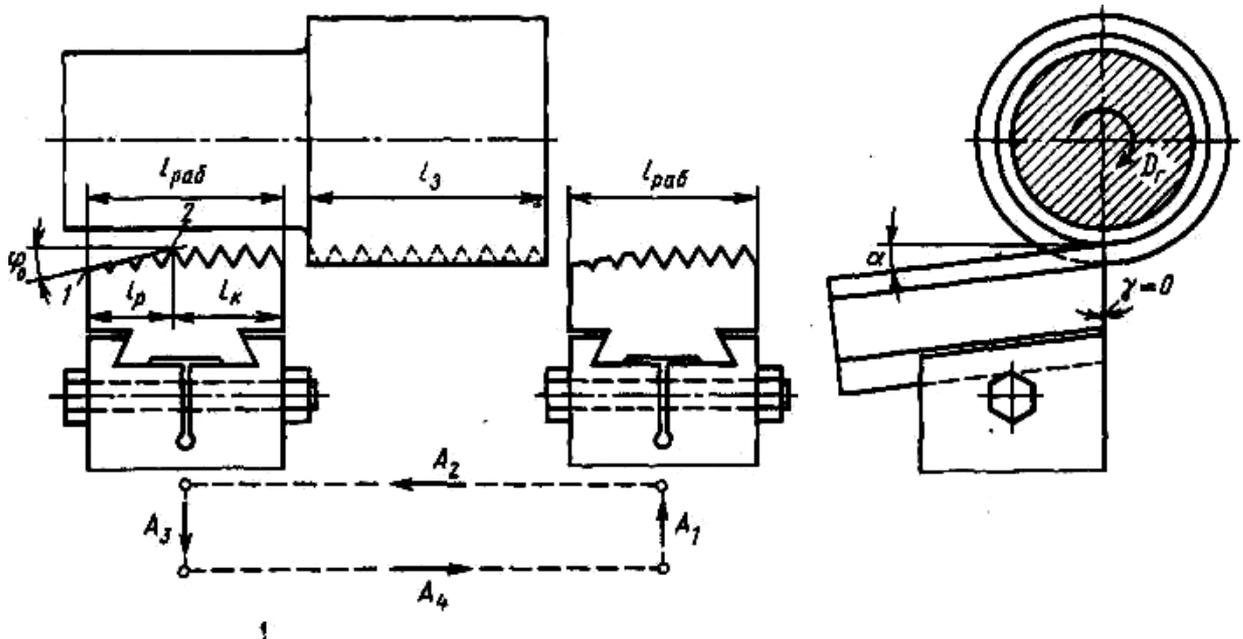


Рис.24. Нарезание резьбы резьбовой гребенкой

У всех перечисленных инструментов вершины полных резьбовых профилей срезаны по наклонным линиям 1-2. Точка 1 лежит на наружном, а точка 2 на внутреннем диаметре резьбы. Угол наклона линии среза вершин зубьев резьбового профиля определяет длину режущей части l_p . На образованной таким образом режущей части l_p резьбовых гребенчатых профилей зубья имеют последовательно возрастающую высоту. Аналогично обработке протягиванием каждый последующий зуб срезает часть площади сечения впадины резьбового профиля на обрабатываемой заготовке и тем самым участвует в формировании резьбы.

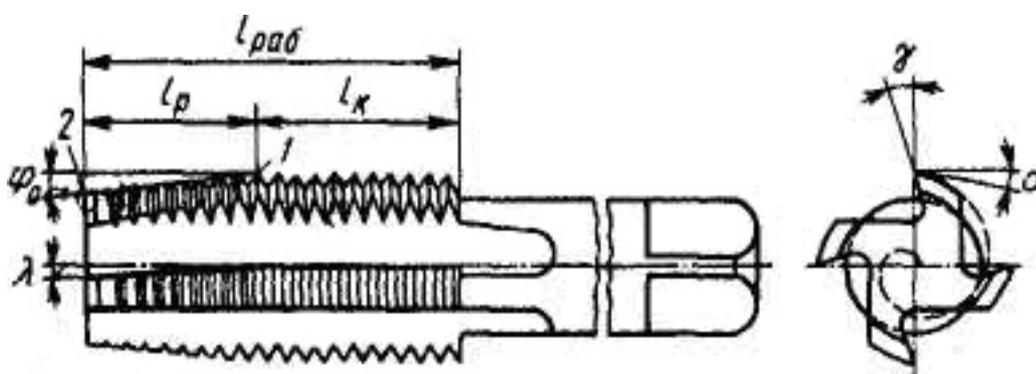


Рис.25. Метчик для нарезания резьбы в отверстиях

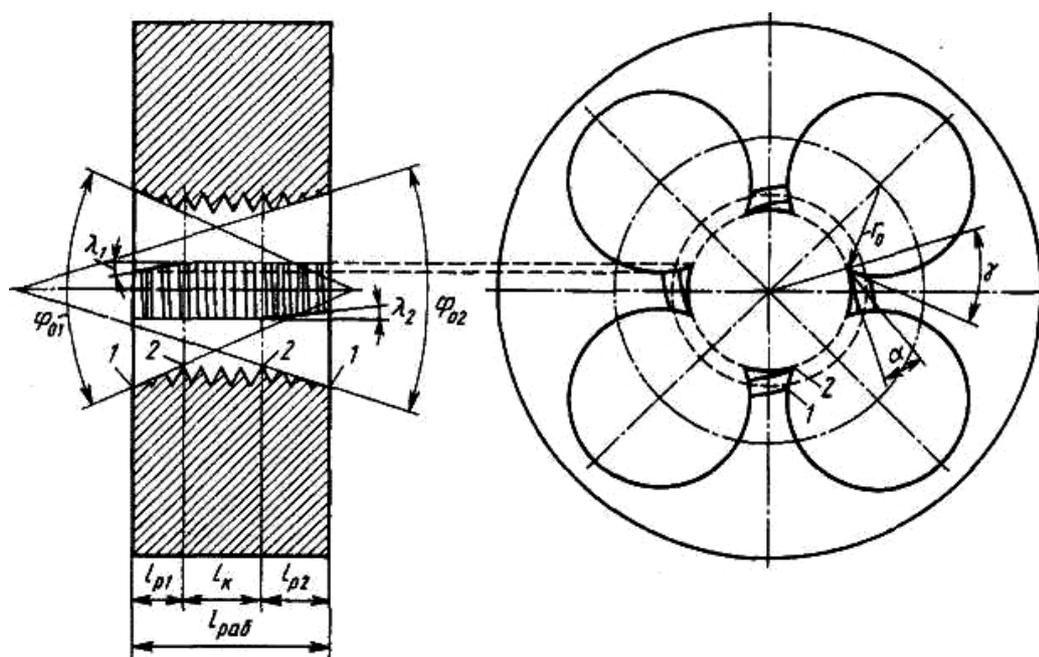


Рис. 26. Круглая плашка для нарезания наружной резьбы на стержнях

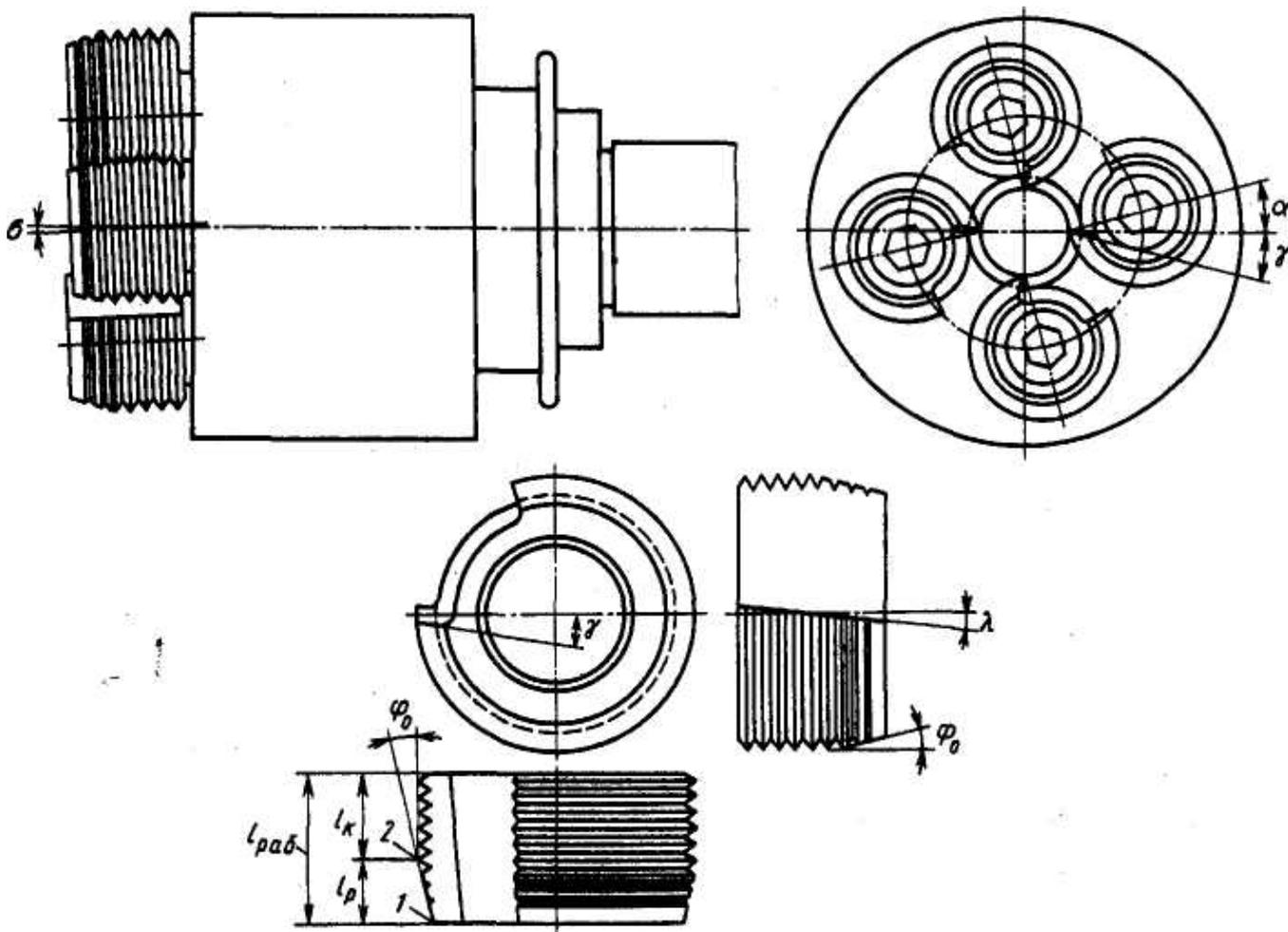


Рис.27. Самооткрывающаяся резьбонарезная головка

Центрирование резьбонарезных инструментов в заранее заготовленных отверстиях (внутренняя резьба) или на стержнях (наружная резьба) выполняют элементы режущих зубьев самих инструментов. Кроме того, боковые поверхности резьбы, нарезаемой на заготовках, контактируя с боковыми сторонами зубьев резьбонарезного инструмента, выполняют функции механизма продольной подачи станка, обеспечивая дополнительное движение на шаг P резьбы.

Применение резьбовых гребенок возможно только в том случае, если конфигурация обрабатываемой детали позволяет свободный ее

подход в исходное положение и свободный выход после рабочего прохода.

Режущие кромки, наклоненные под углом φ_0 к оси резьбы являются главными режущими кромками главных режущих лезвий, выполняющих основную работу по срезанию припуска. Режущие кромки формирующие боковые профильные стороны (поверхности) на нарезаемой резьбе, являются вспомогательными режущими кромками.

Главный угол в плане φ измеряется между главной режущей кромкой и вектором скорости подачи V_s .

Вспомогательный угол в плане φ_1 на гребенчатых резьбонарезных инструментах измеряется между линией, параллельной вектору скорости подачи v_s и вспомогательной режущей кромкой.

Угол наклона главной режущей кромки λ измеряется между главной режущей кромкой и плоскостью, перпендикулярной вектору скорости резания. Его количественное значение и знак определяются соотношением угла подъема нарезаемой резьбы и углом наклона стружечной канавки. Он положителен ($\lambda > 0$), когда срезаемая стружка отклоняется в сторону осевого перемещения инструмента, опережая его. Отвод стружки в этом случае не затрудняет процесс резания. Угол наклона главной режущей кромки отрицателен ($\lambda < 0$), когда срезаемая стружка отклоняется в сторону, противоположную осевому перемещению инструмента. Стружка в этом случае направляется в канавки или отверстия между режущими гребенчатыми профилями.

Задний угол α на гребенчатых резьбонарезных инструментах измеряется между касательной к окружности нарезаемой резьбы на заготовке и касательной к задней поверхности инструмента (см. рис.3...6). Обе линии лежат в плоскости, перпендикулярной оси нарезаемой резьбы. У гребенчатых резьбонарезных инструментов $\alpha = 8..10^\circ$.

Передний угол γ измеряется между касательной к передней поверхности инструмента и линией перпендикулярной радиусу нарезаемой резьбы в рассматриваемой точке (см. рис. 3...6). Обе линии лежат в плоскости, перпендикулярной оси нарезаемой резьбы. Передние углы на рассматриваемых инструментах берутся в пределах $\gamma = 10...25^\circ$.

Резьбу с шагом $P > 3$ мм треугольного и трапецеидального профилей фрезеруют *дисковыми профильными резьбовыми фрезами* (рис.28). Резьбы треугольного профиля с шагом $P = 1...3$ мм фрезеруют *многодисковыми резьбовыми фрезами* (рис.29):

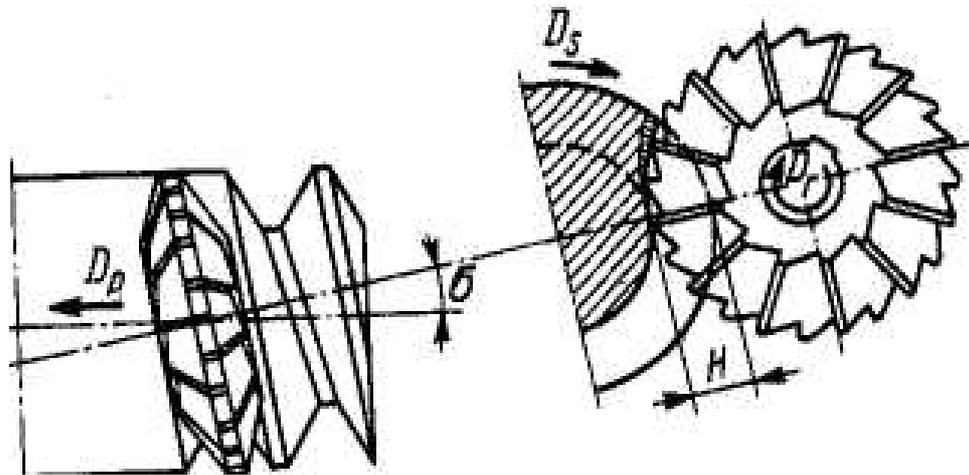


Рис.28. Фрезерование однодисковой фрезой

Оба типа фрез срезают с поверхности заготовок припуск и формируют винтовую резьбовую канавку заданного резьбового профиля с шагом P . При этом принцип, свойственный фрезерованию любых заготовок, в том числе и тел вращения, остается неизменным. Все режущие зубья фрезы срезают одинаковые по форме и площади сечения слои и принимают равное участие в формировании боковых профильных сторон резьбы.

Ось вращения дисковой резьбовой фрезы (см. рис. 28) наклонена к оси заготовки под углом σ подъема резьбы, определяемым шагом P и средним диаметром резьбы D_2 :

$$\operatorname{tg}\sigma = P / (nD_2).$$

Перед началом работы дисковую фрезу устанавливают в исходное положение так, чтобы за один рабочий проход вдоль заготовки фреза обработала винтовую канавку полного профиля высотой H . После включения станка его механизмы обеспечивают взаимосогласованное вращение фрезы D_f и обрабатываемой заготовки D_s , а также поступательное движение фрезы вдоль оси заготовки на размер нарезаемого шага P за каждый ее оборот. Процесс фрезерования резьбы начинается врезанием дисковой фрезы с правого торца заготовки.

Многодисковые резьбовые фрезы (Рис.8) представляют собой набор некоторого числа однодисковых фрез с треугольным резьбовым профилем, расположенных вдоль оси на расстоянии, равном шагу P резьбы, но изготовленных в виде целой неразборной конструкции. Каждый входящий в состав многодисковой фрезы элементарный дисковый участок может автономно фрезеровать винтовую канавку полного резьбового профиля.

Фрезерование начинается с радиального врезания многодисковой фрезы, совершающей одновременно вращательное движение D_f , в неподвижную заготовку. Врезание заканчивается, когда фреза займет исходное положение для начала рабочего процесса формирования резьбы с заданным средним диаметром D_2 и высотой профиля H . Затем поперечная подача врезания прекращается и включается вращательное движение D_s заготовки и осевое перемещение D_u фрезы на шаг P за каждый оборот обрабатываемой заготовки. Вращательное движение обрабатываемой заготовки количественно выражается подачей S_z , мм/зуб.

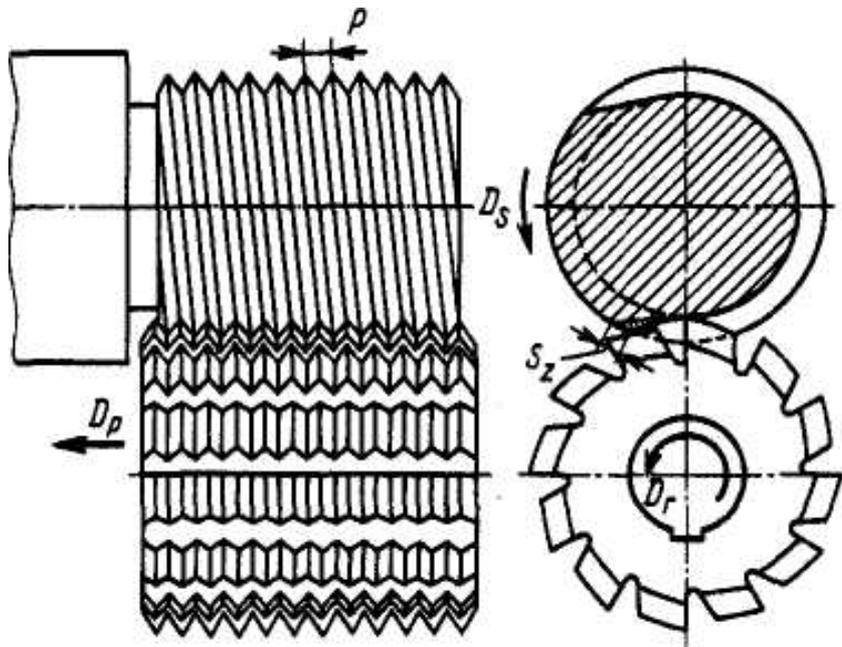


Рис.29. Схема фрезерования резьбы многодисковой фрезой

Контрольные вопросы:

1. Какие способы образования резьбы Вам известны?
2. Классификация и типы резьбообразующего инструмента?
3. В чем преимущества нарезания резьбы тем или иным способом?
4. Какие параметры контролируются при нарезании резьбы?
5. Выбрать режущий инструмент и назначить режимы резания для нарезания резьбы $M60 \times 4-8g$, длина резьбы $l = 80\text{мм}$ на станке 16K20. Материал заготовки – сталь 45 с $\sigma_b = 750\text{ МПа}$.

7. Нарезание зубчатых колес

Различают два основных метода профилирования боковых поверхностей зубьев зубчатых колес: метод копирования и метод обкатки (огибания).

Метод копирования заключается в прорезании впадины фасонным инструментом, форма режущих лезвий которого соответствует очертанию впадины между двумя соседними зубьями зубчатого колеса. Как например фрезерование впадины дисковой модульной фрезой на горизонтально-фрезерном станке, а также пальцевой модульной фрезой па вертикально-фрезерном станке (рис.30).

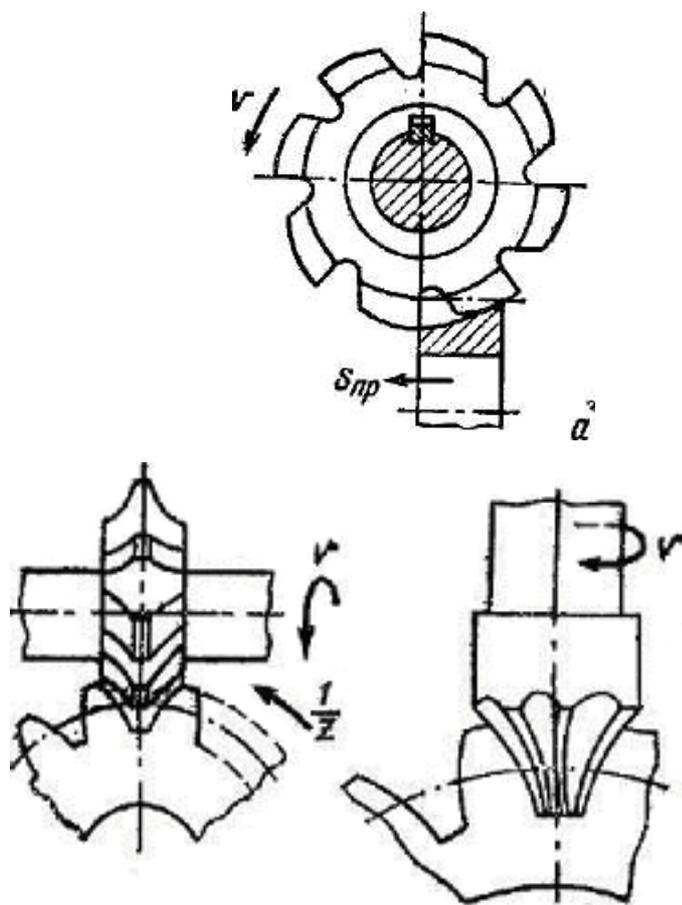


Рис. 30. Схема фрезерования зубьев зубчатых колес методом копирования

Недостатками метода копирования являются: ограниченное количество фрез в комплекте, тогда как для каждого модуля необходимо иметь от 8 до 26 фрез, в зависимости от требований к точности профиля и числа зубьев нарезаемого колеса; искажение профиля зуба при нарезании косозубых колес; низкая производительность в связи с периоди-

ческим возвратом заготовки в исходное положение и делительным движением.

Этот метод используют для нарезания зубчатых колес в единичном производстве, а также для нарезания крупномодульных колес или колес большого диаметра.

Метод обкатки (огибания). При нарезании зубчатых колес этим методом профиль режущих лезвий инструмента не совпадает с профилем нарезаемых зубьев колеса, а отвечает профилю зубьев некоторого зубчатого колеса или рейки, называемых производящим колесом или рейкой, с которыми нарезаемое колесо находится в зацеплении.

В результате согласованных движений инструмента и заготовки на последней нарезаются зубья с профилем огибающей кривой к ряду последовательных положений режущих лезвий инструмента. Чем больше этих относительных положений режущих лезвий приходится на образование профиля, тем ближе профиль нарезаемого колеса соответствует теоретическому.

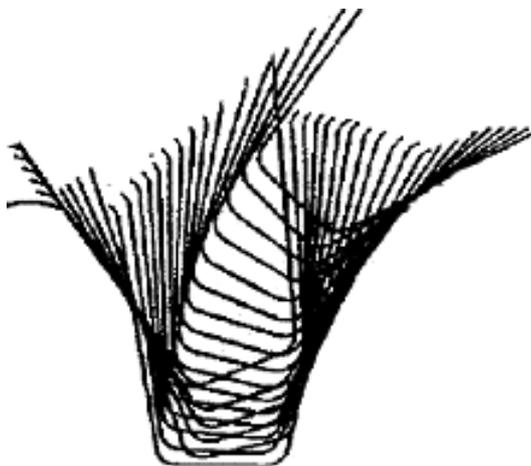


Рис.31 Метод огибания

Метод огибания по сравнению с методом копирования имеет следующие преимущества:

1. Одним и тем же инструментом данного модуля можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев.

2. Обеспечивается более высокая точность и чистота поверхности зубьев нарезаемого колеса.

3. Достигается более высокая производительность обработки благодаря непрерывности процесса резания и участию в работе одновременно большого количества режущих лезвий.

4. Возможна автоматизация процесса.

Нарезание зубьев по методу обкатки цилиндрических зубчатых колес с прямыми или косыми зубьями производят либо методом зубофрезерования червячными модульными фрезами (рис.32), либо методом зубодолбления зуборезными долбьяками.

Конические зубчатые колеса изготавливают на зубо-строгальных станках.

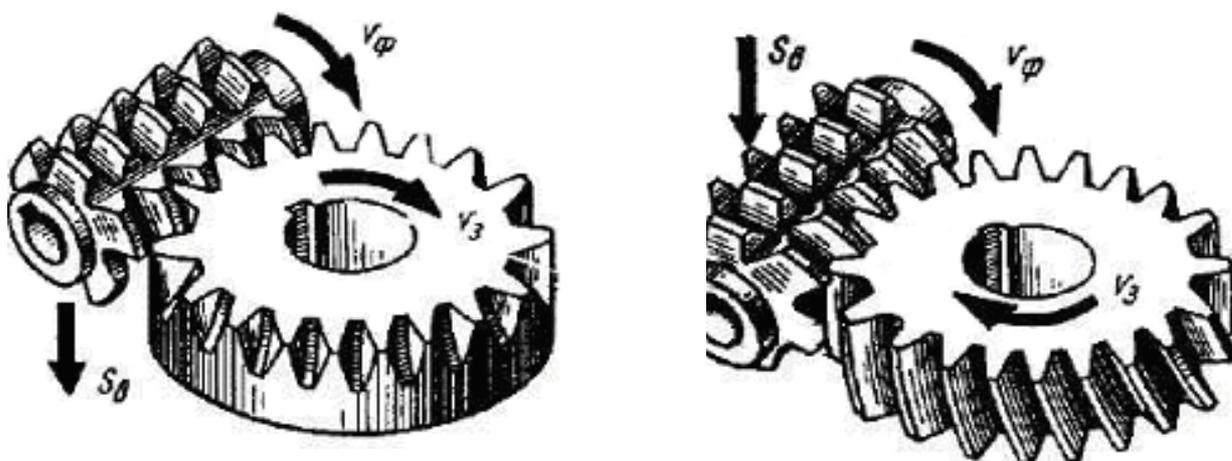


Рис.32. Схема нарезания зубчатых колес червячными фрезами.

Инструмент применяемый для нарезания зубчатых колес.

Дисковая модульная фреза представляет собой фасонную фрезу с затылованными зубьями, профиль зуба которой повторяет профиль впадины нарезаемого колеса.

Применение дисковых модульных фрез ограничено, так как точность нарезаемых с их помощью зубчатых колес получается невысокой - 9 -10-я степень точности. Это объясняется тем, что основной набор состоит из 8 номеров (модуль $m=8$). Фреза определенного номера нарезает колеса со следующим числом зубьев:

Номер фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Число зубьев	12-13	14-16	17-20	21-25	26-34	35-54	54-134	135 и более
--------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------------

Неточности профиля, получающиеся при этом, находятся в пределах допусков колес.

Пальцевые модульные фрезы (рис.33) применяют для фрезерования прямозубых и косозубых колес крупного модуля ($m = 10$ мм), когда зубчатое колесо нельзя нарезать червячной фрезой. Черновые и чистовые фрезы могут быть изготовлены как с затылованными, так и с острозаточенными зубьями. При использовании острозаточенных зубьев их нужно затачивать по профилю.

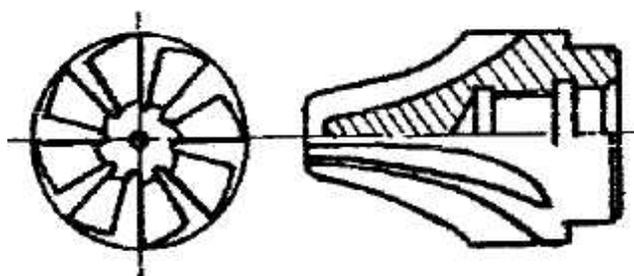


Рис.33. Пальцевая модульная фреза.

Зубодолбежные головки (рис.34) состоят из корпуса с установленными в нем фасонными резцами, каждый из которых обрабатывает свою впадину, т.е. количество резцов соответствует количеству впадин нарезаемого колеса. За несколько двойных ходов резцы углубляются в заготовку на полную высоту зуба нарезаемого колеса. Этот инструмент имеет самую высокую производительность по сравнению с другими инструментами и вполне удовлетворительную точность, но его приме-

ние оправдывается только при массовом производстве зубчатых колес одного модуля и числа зубьев.

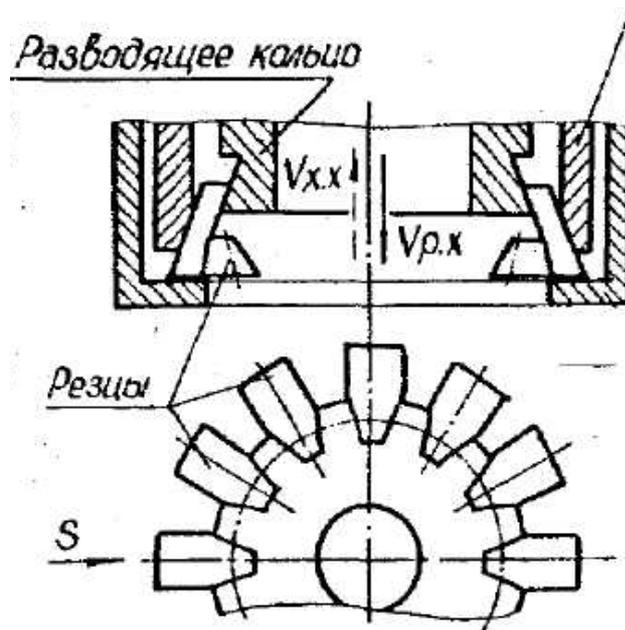


Рис.34 Зубодолбежная головка.

Долбяки предназначены для обработки прямозубых, косозубых и шевронных колес и работают по методу обкатки. По конструкции долбяки делятся на дисковые, чашечные и хвостовые.

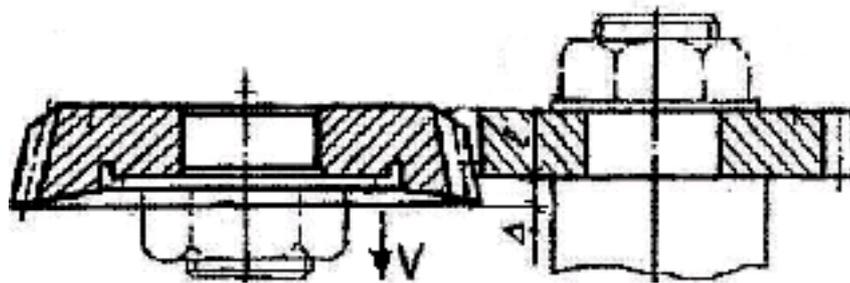


Рис.35. Схема работы зуборезного долбяка

Долбяк представляет собой зубчатое колесо, но в отличие от последнего он имеет боковой задний угол α , поскольку его подача - это обкаточное движение. Без наличия бокового заднего угла внедрение

долбяка в нарезаемое колесо будет невозможным. Поэтому диаметры долбяка в сечениях на различном расстоянии от торца различны.

Долбяку и заготовке сообщается движение обкатки, соответствующее вращению двух зубчатых колес, находящихся в зацеплении, скорости которых согласованы так, что за время поворота долбяка на один зуб нарезаемое колесо повернется также на один зуб.

Одновременно для осуществления процесса резания инструменту – долбяку – сообщается прямолинейное возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки.

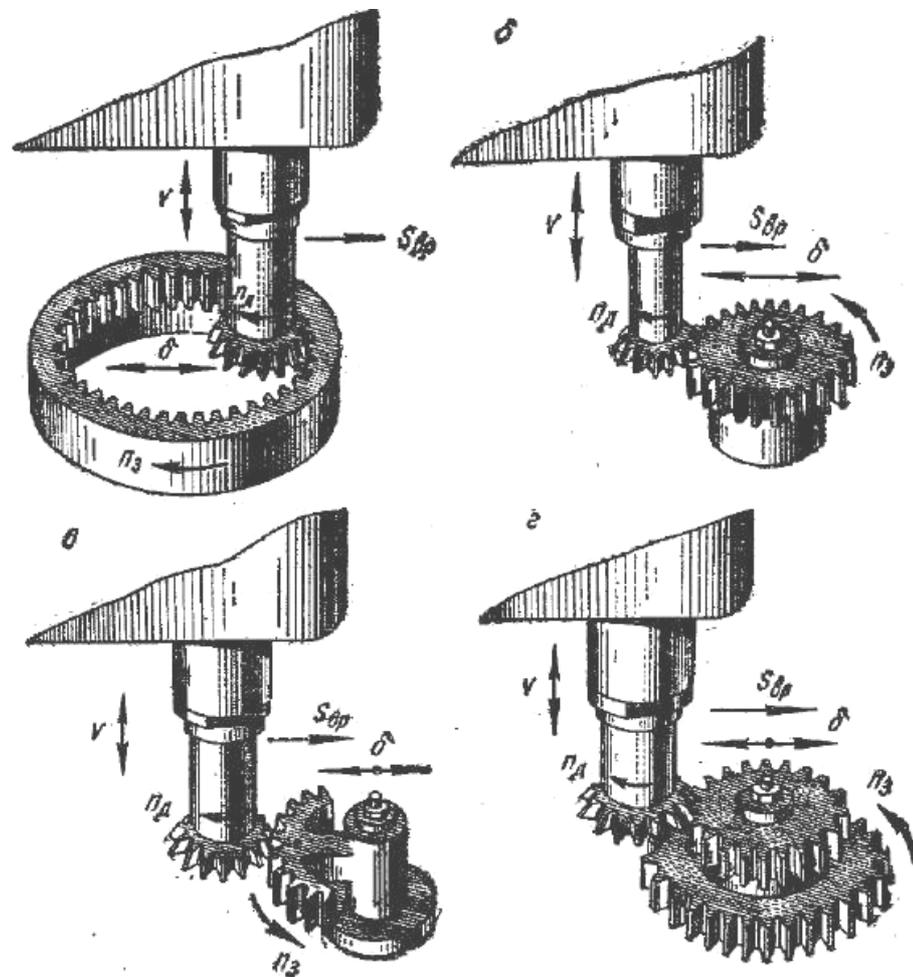


Рис.36. Схема работы долбяка.

Число двойных ходов долбяка в минуту, соответствующее найденной скорости резания,

$$K = \frac{1000 \cdot V_p}{2 \cdot L},$$

где L – величина хода долбяка, мм

Червячные фрезы предназначены для нарезания зубчатых колес и шлицевых валов с зубьями любого, в том числе и эвольвентного профиля. В своей работе используют метод обкатки, что обеспечивает постоянство шага, а он является основным элементом любого зубчатого зацепления (рис.37).

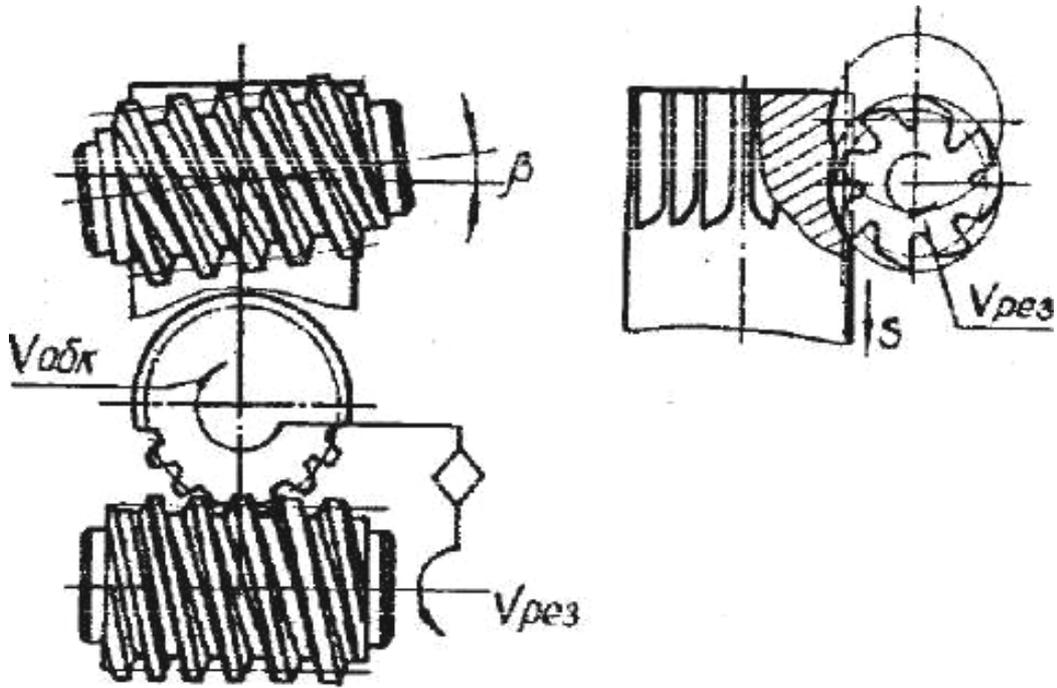


Рис. 37. Схема работы червячной фрезы

В конструкцию червячной фрезы могут быть заложены различные виды червяков: эвольвентный, конволютный и архимедов. Это определяется назначением фрезы и технологическими возможностями изготовителя. Применение того или иного вида червяка влияет на форму зуба фрезы в нормальном, осевом или торцевом сечении.

Поскольку червячные фрезы относятся к фасонным (по общей классификации фрез), то они, как правило, делаются затылованными и для сохранения профиля их переточку производят по передней поверхности боковой стороной тарельчатого круга (рис.38).

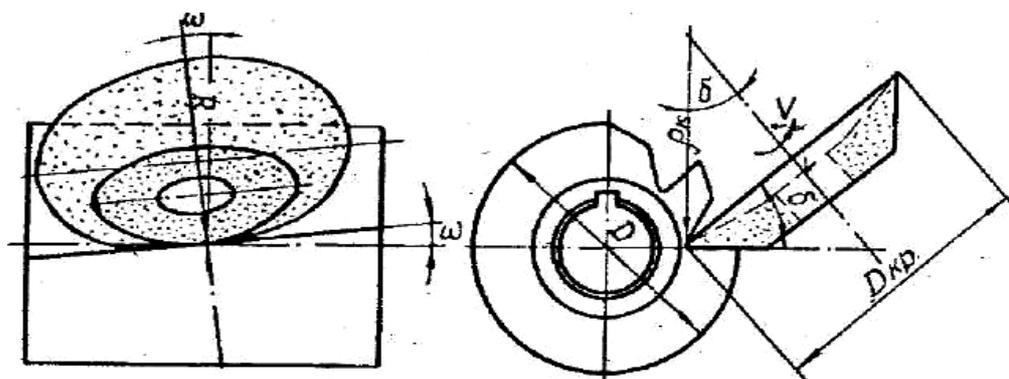


Рис.38. Схема заточки фрезы

Шеверы - инструменты для окончательной обработки боковых поверхностей зубьев колес путем срезания тонких стружек, работающие по методу обкатки. Шевингование производится на специальных станках. Дисковый шевер представляет собой корригированное зубчатое колесо, зубья которого снабжены канавками, образующими режущие кромки. Он вращается вокруг оси OO (рис.39), наклоненной к оси заготовки на некоторый угол $\beta_{ск}$. Это обеспечивает скольжение зуба шевера относительно зуба колеса. Скорость этого скольжения является скоростью резания при шевинговании.

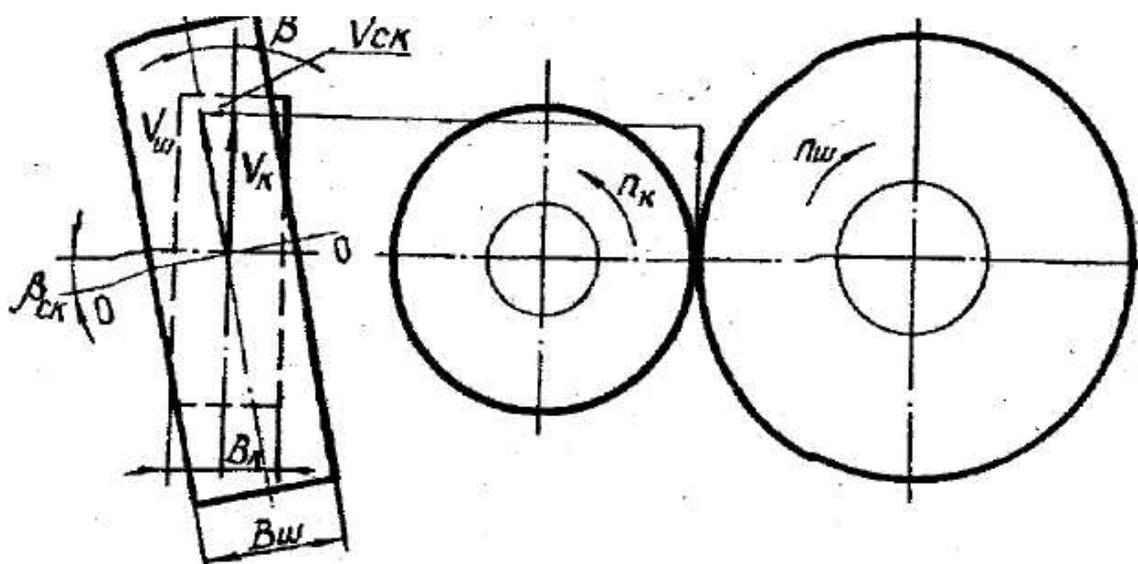


Рис. 39. Схема шевингования дисковым шевером

Поскольку шевер является зубчатым колесом, а режущие кромки лежат на боковой поверхности зубьев - его переточка осуществляется как простое шлифование боковых поверхностей зубчатого колеса. Аналогично осуществляется и контроль основных размеров и геометрических параметров.

Зубострогальные резцы применяют для обработки конических прямозубых колес (рис. 40). Зуб нарезаемого колеса обрабатывается парой резцов, установленных в люльке. Резцы движутся возвратно-поступательно со скоростью резания V_p . Нарезаемое колесо и люлька связаны между собой кинематически. В результате этого обкаточного движения прямолинейная кромка резца обрабатывает боковую эвольвентную поверхность зуба колеса. Переточка резца осуществляется по передней поверхности.

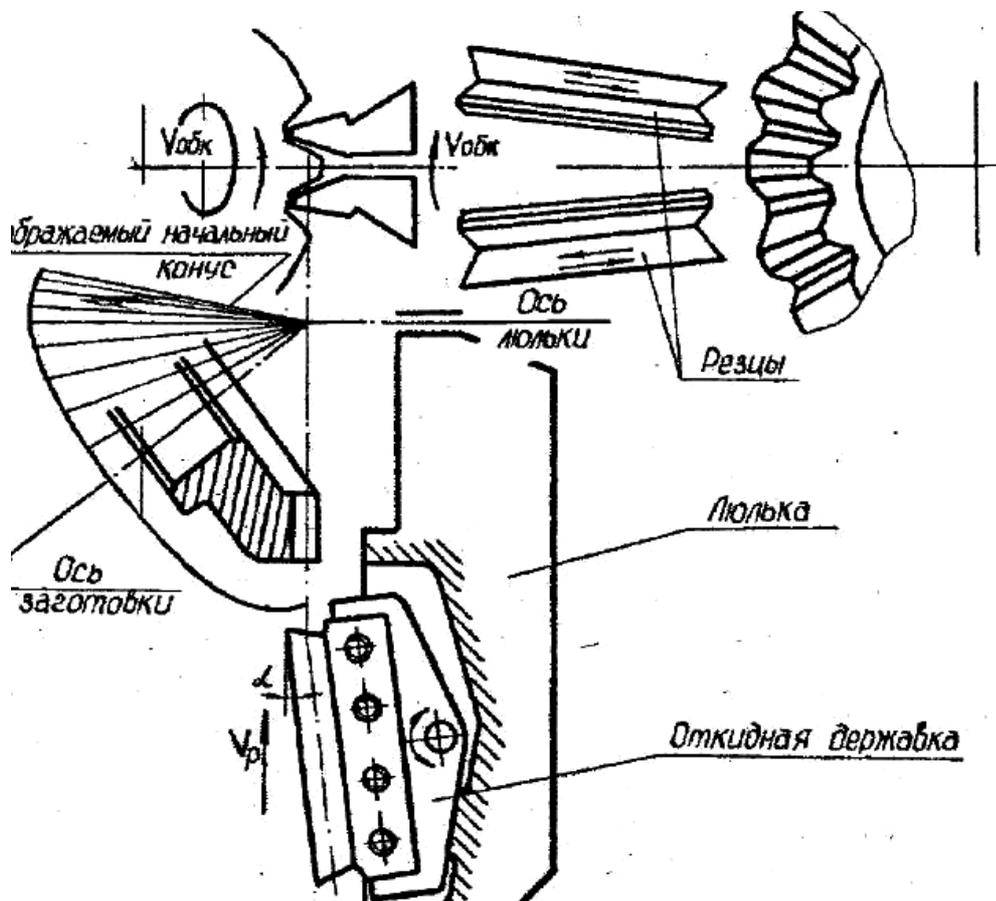


Рис.40 Зубострогальные резцы

Глубина резания при черновом нарезании зубьев ($R_a = 12,5$ мкм), как правило, принимается равной глубине впадины $t = h = 2,2 \cdot m$, где m – модуль нарезаемого колеса, мм.

Обычно черновые червячные фрезы профилируются такими, чтобы ими можно было нарезать зубья на полную глубину, но оставляя припуск на окончательную обработку лишь боковым сторонам зуба. Если мощности и жесткости станка недостаточно, припуск на черновую обработку срезают за два прохода: первый проход $h = 1,4m$, второй проход, $h = 0,7m$.

Чистовую обработку в два прохода применяют только при зубодолблении цилиндрических колес дисковыми долбьяками с модулем 6 мм и выше при шероховатости выше $R_a = 1,6$ мкм.

Поддачи выбирают с учетом качества и точности нарезаемого колеса, мощности станка, модуля и числа зубьев нарезаемого колеса.

Скорость резания устанавливают в зависимости от режущих свойств инструмента. Размеров нарезаемого зуба. Глубины резания, подачи и других факторов по таблицам нормативов, или по эмпирической формуле.

Основное время при зубофрезеровании червячной фрезой

$$T_0 = \frac{L \cdot z}{n \cdot S_0 \cdot K}, \text{ мин}$$

где z - число зубьев нарезаемого колеса;

n - частота вращения фрезы, об/мин;

S_0 – подача фрезы за оборот заготовки, мм/об;

K - число заходов фрезы.

При чистовой обработке применяют однозаходную фрезу, при черновой – многозаходную.

L – величина хода фрезы

$$L = b + l_l,$$

где b – ширина венца нарезаемого колеса, мм;

l_l – величина врезания и перебега, мм

Основное время при зубодолблении

$$T_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{K_\partial \cdot S} \cdot i + \frac{h}{K_\partial \cdot S_p}, \text{ мин.},$$

где m – модуль нарезаемого колеса, мм;

z – число зубьев нарезаемого колеса;

K_∂ – число двойных ходов в минуту долбяка, дв.ход/мин;

S – круговая подача, мм/дв.ход;

S_p – радиальная подача, мм/дв.ход;

i – число проходов;

h – припуск на обработку, мм.

Контрольные вопросы:

1. Основные методы нарезания зубчатых колес, их достоинства и недостатки?

2. Применяемый инструмент для образования зубчатых колес?

3. Чем обосновывается разновидность применяемых инструментов?

4. В чем сущность процесса шевингования и какой инструмент применяется при этом?

5. На зубодолбежном станке 5122 нарезать долбяком прямозубое зубчатое колесо модуля $m = 3$ мм с числом зубьев $z = 40$, шириной венца $b = 40$ мм. Обработка чистовая ($R_a = 1,6$ мкм) по сплошному металлу. Материал заготовки – сталь 40Х, твердость НВ190.

8. Абразивный инструмент

Абразивный инструмент широко применяется при обработке деталей машин и обеспечивает шероховатость R_a 0,2 – 0,08 мкм. Шлифовальные круги представляют собой тела, состоящие из: 1 – множества абразивных зерен, выполняющих функции режущих зубьев; 2 – веществ, соединяющих все абразивные зерна в единую неразъемную конструкцию.

Между абразивными зернами и связующими их веществами существуют некоторые промежутки (поры), играющие роль впадин между зубьями, в которых размещается стружка (рис.41). Размеры пор и плотность их распределения в объеме круга играют настолько существенную роль, что их принято рассматривать как третью составляющую структурного строения круга. От соотношения названных трех составляющих зависят режущие свойства шлифовальных кругов.

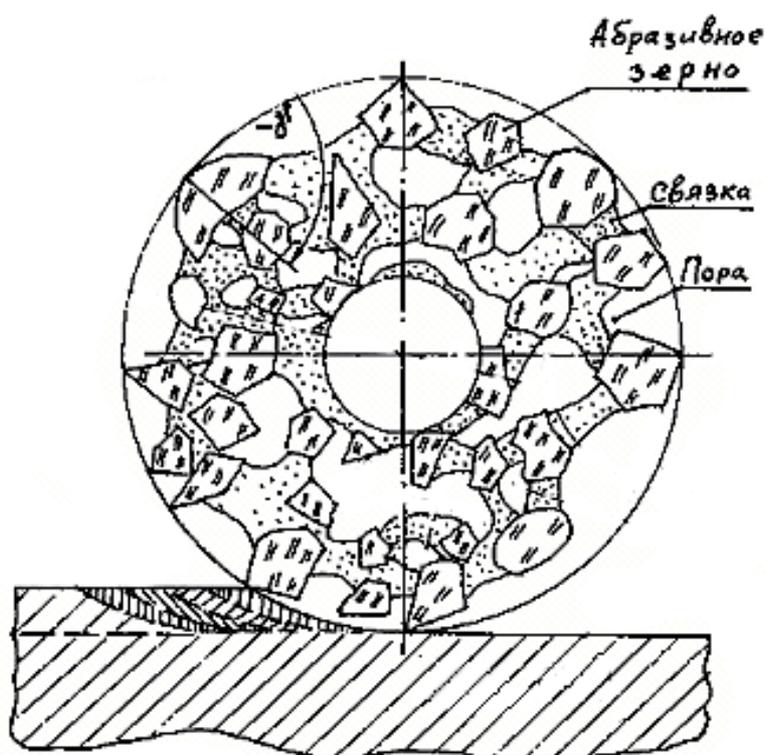


Рис.41. Обработка абразивным материалом

В зависимости от содержания абразивных зерен в объеме шлифовальных кругов их структура может быть плотной, средней, открытой и очень открытой. Более тонкая градация структур шлифовальных кругов осуществляется присвоением каждой группе номера от 0 до 20. Содержание абразивных зерен в группах с соседними номерами отличается на 2 %, уменьшаясь с увеличением номера структуры (табл.1).

Таблица 1

	Плотные структуры	Средние структуры	Открытые структуры	Очень открытые структуры
Номер структуры	0.. 3	4...8	9. ...12	13. ..20
Содержание абразивных зерен, %	62.. .56	54.. .46	44.. .38	36.. .22

Абразивные зерна, входящие в состав шлифовальных кругов, могут быть природного происхождения или быть специально изготовлены. Применение материалов естественного природного происхождения (кварца, корунда, алмазов) в настоящее время весьма ограничено из-за нестабильности их физико-механических характеристик или их дефицита. Гораздо больше распространены искусственные материалы различного химического состава, обладающие высокой твердостью, термо- и износостойкостью.

Электрокорунд нормальный: 12А, 13А, 14А, 15А, 16А. Первая цифра в обозначениях показывает номер группы абразивных материалов, а вторая - подгруппу в зависимости от химического состава материала (наличия примесей и их содержания).

Корундами называют вещества, основу которых составляют кристаллы оксида алюминия Al_2O_3 . Искусственные корунды получают из глиноземосодержащего сырья (бокситов) плавкой в электрических печах. Электрокорунды имеют несколько разновидностей.

Электрокорунд нормальный может содержать свыше 5 % примесей и легирующих составляющих, главной из которых является оксид титана. Физико-механические и режущие свойства электрокорунда улучшаются с увеличением номера в обозначении марки. Зерна имеют цветовую гамму от светло-розового или светло-коричневого до темно-коричневого.

Электрокорунд белый содержит более 99 % оксида алюминия и в зависимости от количества примесей также имеет несколько марок. Зерна белого электрокорунда имеют более высокую износостойкость и применяются при изготовлении кругов для чистового шлифования закаленных сталей. Зерна имеют белый или бело-розовый цвет.

Электрокорунд хромистый (технический рубин) получают добавкой в шихту перед плавкой до 0,3 % оксида хрома Cr_2O_3 , в результате чего при плавке образуется твердый раствор оксида хрома в корунде. Зерна имеют розовую или темно-вишневую окраску, содержат много монокристаллов и имеют высокую стабильность физико-механических свойств, что улучшает их режущую способность.

Электрокорунд титанистый получают добавкой в шихту оксида титана TiO_2 с образованием в процессе плавки твердых растворов оксида титана в корунде. Они способствуют получению кристаллов более совершенной формы, благодаря чему повышается абразивная способность зерен.

Монокорунд представляет собой электрокорунд, зерна которого имеют форму правильных кристаллов малых размеров, не подвергнутых дроблению и измельчению в ходе технологического процесса их получения. Это достигается добавлением в шихту перед плавкой сульфида железа (пирита). Благодаря правильной форме кристаллы монокорунда имеют высокие прочность и износостойкость.

Таблица 2

Химический состав абразивных инструментов

Абразивный материал	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiC	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	C
Электрокорунд нормальный	94,5...96,7	1,6...2,6	-	0,4...0,9	0,3...0,6	0,5...0,7	-	-	0,1...0,15
Электрокорунд белый	99,4...99,7	-	-	0,02...0,05	0,02...0,05	0,03...0,14	0,2...0,3	-	0,02...0,03
Электрокорунд хромистый	97,7...98,8	-	-	0,02...0,05	0,04...0,12	0,05...0,15	0,2...0,3	0,8...1,6	0,02...0,05
Монокорунд	97,5...98,6	0,4...0,6	-	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,4	-	-	0,05...0,15
Карбид кремния черный	-	-	>98	-	0,15...0,4	-	-	-	0,2...0,25
Карбид кремния зеленый	-	-	>98,5	-	0,1...0,25	-	-	-	0,05...0,2

Электрокорунд белый	-	22А, 23А, 24А, 25А.
Электрокорунд легированный хромистый	-	32А, 33А, 34А.
титанистый	-	37А.
Монокорунд	-	43А, 44А, 45А.
Карбид кремния <i>черный</i>	-	53С, 54С, 55С
<i>зеленый</i>	-	63С, 64С
Алмазы		
<i>природные</i>	-	А, АМ, АН.
<i>синтетические</i>	-	АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС.
Нитрид бора (эльбор)	-	ЛО, ЛП.

Карбид бора – это химическое соединение бора с углеродом B_4C , получаемое электроплавкой из смеси борной кислоты и нефтяного кокса. Он имеет более высокую твердость, чем карбид кремния. Вместе с тем карбид бора хрупок, а при высокой температуре разлагается с выделением графита. Поэтому применение карбида бора ограничивается доводочными работами.

Природные алмазы имеют очень высокую твердость. Природные алмазы приняты за эталон при сравнительной оценке твердости. Производство кругов с абразивными зёрнами из природных алмазов очень ограничено в связи с дефицитностью и высокой стоимостью.

Синтетические алмазы имеют твердость близкую, а в отдельных случаях равную твердости природных алмазов. Монокристаллы и поликристаллы из синтетических алмазов, а также их осколки размером более 800 мкм называются алмазными зёрнами, а менее крупные частицы – алмазным порошком.

Синтетические алмазы имеют различные физико-механические свойства, в частности различную прочность. В соответствии с этим имеется семь марок: АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС, АСМ и АСН. Пять первых марок относят к группе алмазных шлифпорошков, а две последние – к группе микропорошков.

Кубический нитрид бора используется в виде абразивных зёрен в шлифовальных кругах, предназначенных для обработки поверхностей на режущих инструментах из быстрорежущих сталей и деталях машин из труднообрабатываемых материалов. Шлифпорошки из нитрида бора выпускаются двух марок с обозначением ЛО и ЛП.

Размер зёрен абразивных материалов определяется понятием зернистости. Абразивные зёрна в зависимости от размеров разделяются на следующие группы: а) шлифовальные зёрна (шлифзёрна); б) шлифо-

вальные порошки (шлифпорошки); в) микропорошки. Внутри каждой группы разделение по размерам зерен производится по номерам зернистости. Номер зернистости является также характеристикой круга и входит в маркировку круга, наносимую на его нерабочей поверхности. Верхний предел размеров абразивных зерен соответствует размеру стороны ячейки сита в свету. Нижний предел соответствует размеру стороны ячейки в свету следующего по очереди сита, на котором зерно задерживается. В массе шлифзерна данной зернистости допускается наличие некоторого количества более крупных и более мелких зерен, соответствующих соседним номерам зернистости.

Зернистость алмазных и эльборовых порошков обозначается дробью, в которой числитель соответствует наибольшему, а знаменатель – наименьшему размеру в микрометрах зерен данной фракции. Контроль размеров алмазных и эльборовых зерен после разделения их с помощью сит на фракции производят с помощью микроскопа.

Высокая твердость абразивных материалов является необходимым условием их способности производить резание.

Таблица 3

Зернистость абразивных материалов

Шлифзерно		Шлифпорошки		Микропорошки	
Зерни- стость	Размеры зерен, мм	Зерни- стость	Размеры зерен, мм	Зерни- стость	Размеры зерен, мм
200	2,50...2,00	12	0,16...0,12	M40	40...28
160	2,00... 1,60	10	0,12...0,10	M28	28...20
125	1,60...1,25	8	0,10...0,08	M20	20...14
100	1,25... 1,00	6	0,08...0,06	M14	14...10
80	1,00...0,80	5	0,06...0,05	M10	10...7
63	0,80...0,63	4	0,05...0,04	M7	7...5
50	0,63...0,50			M5	5...3
40	0,50...0,40				
32	0,40...0,32				
25	0,32...0,25				

20	0,25...0,20				
16	0,20...0,16				

Под твердостью абразивного инструмента понимается условная величина, характеризующая свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой. По твердости абразивные инструменты делятся на мягкие (М1, М2, М3), среднемягкие (СМ1, СМ2), средние (С1, С2), среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3), твердые (Т1, Т2), весьма твердые (ВТ1, ВТ2) и чрезвычайно твердые (ЧТ1, ЧТ2).

Чем меньше твердость абразивных инструментов, тем слабее сцепление между зернами и связкой и тем легче отдельные зерна под действием внешних сил могут быть вырваны из режущей поверхности круга. По мере возрастания сил сцепления между зернами и связкой возрастает и сопротивление разрушениям под действием внешних сил.

Абразивные инструменты на керамической связке изготавливают всех степеней твердости, инструменты на бакелитовой связке — только от СМ1 до Т1; для инструментов на вулканитовой связке твердость не указывается.

Чтобы использовать свойство самозатачивания абразивных инструментов, шлифование твердых материалов с повышенными истирающими свойствами ведут мягкими шлифовальными кругами. Например, заточка твердосплавных инструментов ведется кругами с твердостью М2...СМ2. Чем мягче обрабатываемый материал, тем тверже выбирают круги: шлифование термообработанных конструкционных и инструментальных сталей твердостью HRC 50... 65 ведут электрокорундовыми кругами с твердостью СМ и С; шлифование конструкционных сталей и чугунов в состоянии поставки — электрокорундовыми кругами с твердостью СТ, а сплавов алюминия и меди — кругами с твердостью Т1.

Круги с твердостью ВТ и ЧТ используются для предварительной обработки и очистки литья, обработки заготовок в заготовительных цехах, т. е. когда не требуются высокая точность обработки и высокое качество обрабатываемых поверхностей.

Абразивный материал	Микротвердость, 10^{-3} МПа
Эльбор ЛО	73 ... 100
Карбид бора	33 ... 45
Карбид кремния 55С, 64С	28...36
Электрокорунд титанистый 37А	22...33
Монокорунд	21... 26
Электрокорунд хромистый	20... 22
Электрокорунд белый 24А	20... 21
Электрокорунд нормальный 15А	18 ... 20

Сравнивая данные по абразивной способности и микротвердости различных материалов, можно заметить, что чем тверже абразивный материал, тем выше его абразивная способность, и наоборот

При выборе твердости круга руководствуются следующим правилом: чем тверже шлифуемый материал, тем мягче должен быть круг и наоборот.

Для придания шлифовальным кругам необходимой формы и размеров в состав кругов входят связующие вещества, которые принято называть *связками*. Под этим термином понимается вещество или совокупность веществ, используемых для закрепления зерен в инструменте. Связки бывают неорганические (минеральные), органические (смолы, каучук) и металлические. В промышленности около 60 % инструментов изготавливают на неорганической связке, около 33 % - на бакелитовой, около 6 % - на вулканитовой и около 1 % - на прочих связках.

В группу *неорганических* входят керамические, магнезиальные и силикатные связки. Сырьем для керамических связок являются стекло, полевой шпат и другие минералы. Керамические связки обозначаются буквой К. В зависимости от содержания различных компонентов керамические связки выпускают разных марок: К1, К2, ..., К8. Шлифовальные круги с электрокорундовыми зёрнами зернистостью 125...16 изготавливают на связке К8, мелкозернистые шлифовальные круги (зернистость 12... 4) - на связке К7, круги, содержащие зёрна из белого электрокорунда, - на связке К1 и на борсодержащей связке К5, что позволяет получить повышенную износостойкость кромок и профиля круга. Шлифовальные круги, содержащие абразивные зёрна из карбида кремния зернистостью 50... 16, изготавливаются на связке К3, а мелкозернистые круги зернистостью 12 ... 4 - на связке К2.

Шлифовальные круги на керамической связке влаго- и температуроустойчивы, но отличаются хрупкостью и не допускают работу с ударными нагрузками. Благодаря хрупкости керамической связки абразивные зёрна, достигшие некоторого критического значения износа, при очередном рабочем цикле выламываются из монолита, обнажая лежащие ниже абразивные зёрна и тем самым обеспечивая самозатачивание в процессе шлифования. Шлифование кругами на керамической связке ведется, как правило, с применением охлаждающих жидкостей.

Магнезиальные (на основе каустического магнезита и хлорида магния) и силикатные (на основе растворимого стекла) связки применяются сравнительно редко в кругах для обработки вязких сталей.

К *органическим* связкам относятся бакелитовая, вулканитовая, глифталевая и др. Основой этих связок являются синтетические смолы.

Наибольшее распространение в этой группе получили бакелитовые связки на основе фенолоформальдегидной смолы: пульвербакелит

марок Б и Б1, жидкий бакелит марки Б2 и специальный бакелит марки Б3.

Бакелитовые связки придают шлифовальным кругам прочность и эластичность. При нагреве до температуры выше 200°С бакелитовые связки становятся хрупкими и шлифовальные круги быстро изнашиваются. При продолжительном воздействии температур порядка 250...300 °С бакелитовая связка выгорает. На бакелитовые связки разрушающее действие оказывают щелочные растворы и поэтому вода, применяемая для охлаждения, не должна содержать более 1,5 % соды. Шлифовальные круги, в том числе и алмазные, изготовленные на бакелитовой связке, обладают хорошими режущими свойствами и способны обрабатывать материалы с малыми силами резания.

Мелкозернистые шлифовальные круги, содержащие зерна из электрокорундов и карбида кремния и изготовленные на бакелитовой связке, применяют для чистового и доводочного шлифования чугунов, сталей и цветных металлов. Шлифовальные круги на бакелитовой связке Б3 применяют для шлифования резьб и резки прутков.

Основой вулканитовой связки является каучук. Вулканитовые связки в зависимости от содержания компонентов выпускаются нескольких марок - В1, В2 и В3. Теплостойкость каучука низкая (150... 180 °С), и это ограничивает режимы шлифования и требует применения жидкостей для охлаждения. Вместе с тем вулканитовая связка придает шлифовальным кругам большую эластичность и способность, изгибаясь, выдерживать без разрушения боковые нагрузки. Эти качества вулканитовой связки позволяют изготавливать тонкостенные шлифовальные круги, в частности, дисковой формы. Они применяются для шлифования узких криволинейных пазов в деталях и инструментах. Шлифовальные круги на связке В2 позволяют шлифовать резьбы с малым шагом. В

процессе шлифования часть каучука выгорает, распространяя запах горелой резины.

Глифталевую связку получают на основе синтетической смолы из глицерина и фталиевого ангидрида. Шлифовальные круги на глифталевой связке применяют при отделочном шлифовании закаленных сталей.

Различают два основных вида *металлических связок* - порошковые и гальванические. Порошковые металлические связки получают спеканием порошков из медных и алюминиевых сплавов. Связки на основе бронз имеют обозначение М1. Связки на основе алюминиево-цинковых сплавов имеют общее обозначение М5 и подразделяются на связки ТМ2, МО13 и МВ1. Гальванические связки выполняются на никелевой основе методом гальванического закрепления зерен на металлическом корпусе.

Характерной особенностью металлических связок являются их высокая механическая прочность и незначительная пористость. Связка охватывает зерна практически со всех сторон и надежно удерживает их в монолите и, несмотря на их значительный износ, препятствует самозатчиванию круга. Поэтому на металлической связке изготавливают только алмазные и эльборовые круги, зерна которых обладают высокой износостойкостью.

Алмазные и эльборовые круги на металлической связке применяются для предварительного и чистового шлифования твердых и хрупких материалов, а также для заточки поверхностей лезвий режущих инструментов. Удельный расход алмазных зерен и износ режущей поверхности алмазных кругов на металлической связке меньше, чем кругов на бакелитовой связке. Металлические связки теплопроводны и быстро нагреваются по всему объему круга до высоких температур. По-

этому шлифование алмазными кругами на металлических связках ведется с обязательным применением охлаждающих жидкостей.

Для выполнения шлифовальных операций используют широкую номенклатуру кругов. Круги ПП (плоский прямой) имеют плоские торцовые стороны и применяются для наружного и внутреннего круглого, а также для плоского шлифования. Круги ПВ (плоский с выточкой) имеют на одной стороне выемку - эти круги применяют для шлифования плоских и цилиндрических поверхностей с одним плоским торцовым буртом. Круги ПВД имеют выточки с обеих сторон - они применяются для шлифования цилиндрических и плоских поверхностей с двумя плоскими торцовыми буртами. Круги К кольцевой формы применяют для наружного круглого шлифования. Дисковые круги Д используются для прорезки пазов и отрезки. Круги ЧЦ (чашечные цилиндрические) и ЧК (чашечные конические), имеющие форму чашек, и тарельчатые круги 1Т, 2Т, 3Т, где цифрой обозначена модификация круга (в зависимости от углов наклона рабочих конических поверхностей, их протяженности и т. д.), в основном применяют для заточки инструментов.

Различают круглое наружное шлифование, внутреннее круглое шлифование, плоское шлифование, бесцентровое шлифование. Круглое наружное шлифование применяется для обработки цилиндрических наружных поверхностей и осуществляется двумя способами: с продольной подачей (метод врезания) – применяется если длина шлифуемой поверхности меньше ширины круга.

Разработку режимов резания при шлифовании начинают с выбора характеристики шлифовального круга.

Для этого устанавливают:

- тип (форму) шлифовального круга,
- материал абразивного зерна,

- зернистость,
- индекс зернистости,
- твердость,
- структура,
- класс круга.

После выбора элементов характеристики следует записать полную характеристику, которая содержит такие параметры: форму (тип), марку зерна, зернистость, индекс зернистости, твердость круга, структуру, тип связки, класс круга, допустимую окружную скорость.

Основными элементами режима резания при шлифовании являются:

- окружная скорость в м/с (указывается в конце характеристики круга и является максимальной допускаемой прочностью круга);
- скорость вращательного или поступательного движения детали в м/мин;
- глубина шлифования t мм – слой металла, снимаемый шлифовальным кругом за один или двойной ход при круглом или плоском шлифовании или же равная всему припуску на сторону при врезном шлифовании;
- продольная подача S – перемещение шлифовального круга вдоль своей оси в мм на оборот заготовки при круглом шлифовании или в мм на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга;
- радиальная подача S_p – перемещение шлифовального круга в радиальном направлении в мм на один оборот детали при врезном шлифовании.

Эффективная мощность (мощность необходимая для резания) рассчитывается по эмпирической формуле или определяется по таблицам нормативов.

На значение эффективной мощности при шлифовании влияет много факторов. Основными среди них являются физико-механические свойства обрабатываемых металлов, характеристики шлифовальных кругов и режимы шлифования. На основе обработки результатов экспериментальных исследований установлено, что при шлифовании конструкционных сталей, чугунов и высоколегированных сплавов затрачиваемая эффективная мощность в киловаттах для наружного и внутреннего круглого шлифования выражается зависимостью:

$$N = C_N S_{прод} S_{окр}^{0,7} S_{пон}^{0,7}, \quad (1)$$

где $S_{прод} = (0,6 \dots 0,8) B$ - продольная подача, мм/об;

$S_{пон} = 0,005 \dots 0,05$ - поперечная подача, мм/дв.ход;

$S_{окр} = V_3$ – окружная подача, равная линейной скорости точек на обрабатываемой поверхности заготовки, м/мин;

B – ширина шлифовального круга, мм.

Для плоского шлифования

$$N = C_N S_{пон} S_{окр}^{0,7} S_{верт}^{0,7}, \quad (2)$$

где $S_{пон} = (0,6 \dots 0,8) B$ – поперечная подача, мм/дв. ход;

$S_{верт} = 0,005 \dots 0,05$ – вертикальная подача, мм/ход;

$S_{прод} = 1 \dots 10$ – продольная подача, м/мин;

B – ширина шлифовального круга, мм.

Входящий в уравнения (1) и (2) коэффициент C_N зависит от вида шлифования и диаметра шлифуемой заготовки D_3 , мм:

$$C_N = C_0 D_3^n \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3,$$

где C_o – коэффициент и n - показатель степени, зависящие от вида шлифования; $k_1...k_3$ - коэффициенты, учитывающие твердость круга, ширину круга B , вид обрабатываемого материала.

Наиболее распространено круглое внешнее шлифование в центрах. Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью V_k (м/с), которая является скоростью резания и определяется по формуле

$$V_k = \frac{\pi D_k n_k}{60 \cdot 1000},$$

где D_k - диаметр круга, мм

n_k - число оборотов круга в минуту.

Скорость вращения (м/мин) заготовок определяется из формулы

$$V_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000},$$

где D_3 – диаметр обрабатываемой заготовки, мм

n_3 – число оборотов заготовки в минуту, об/мин.

Вращение заготовки является круговой подачей. Круг или заготовка совершает возвратно-поступательное продольное перемещение вдоль оси - это продольная подача ($S_{пр}$), которая измеряется в миллиметрах на один оборот заготовки или в долях ширины круга (B).

Основное время при круглом шлифовании с продольной подачей

$$T_o = \frac{L \cdot h}{1000 \cdot V_c \cdot t} \cdot K, \text{ мин}$$

где h – припуск на сторону, мм;

V_c – скорость продольного хода стола, м/мин;

t – глубина шлифования, мм;

K – коэффициент выхаживания;

$K = 1,4$ – при чистовом шлифовании;

$K = 1,1$ – при предварительном шлифовании;

L – величина хода стола, мм

$$L = l - (1 - K \cdot m) \cdot B_k, \text{ мм}$$

где l – длина шлифуемой поверхности;

K – число сторон перебега круга ($K = 2$ – при сбеге круга в обе стороны,

$K = 1$ – при сбеге круга в одну сторону, $K = 0$ – без сбега);

m – перебег в долях ширины круга;

B_k – ширина шлифовального круга, мм.

При круглом наружном шлифовании методом врезания

$$T_0 = \frac{h}{n_3 \cdot S_p} \cdot K, \text{ мин,}$$

где n_3 – частота вращения заготовки, об/мин;

S_p – радиальная подача, мм/об.

При круглом шлифовании

$$T = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot S \cdot t} \cdot K, \text{ мин}$$

где S – продольная подача, мм/об.

При круглом внутреннем шлифовании перебег круга в обе стороны равен $0,5 \cdot B$, тогда

$$L = l - (1 - 2 \cdot 0,5) \cdot B, \text{ т.е. } L = l \text{ мм}$$

Плоское шлифование

$$T_0 = \frac{H \cdot L \cdot h}{1000 \cdot V_c \cdot S \cdot t \cdot g} \cdot K, \text{ мин}$$

где H – перемещение шлифовального круга в направлении поперечной подачи, мм;

L – величина хода стола, мм;

h – припуск на сторону;

V_c – скорость движения стола, м/мин;

g – число одновременно шлифуемых заготовок.

$$H = B_3 + B_k + 5, \text{ мм}$$

где B_3 – суммарная ширина заготовок, установленных на столе, мм.

B_k – величина шлифовального круга, мм.

$$L = l + (10 \dots 15), \text{ мм}$$

где l – суммарная длина заготовок, установленных на столе, мм.

Контрольные вопросы:

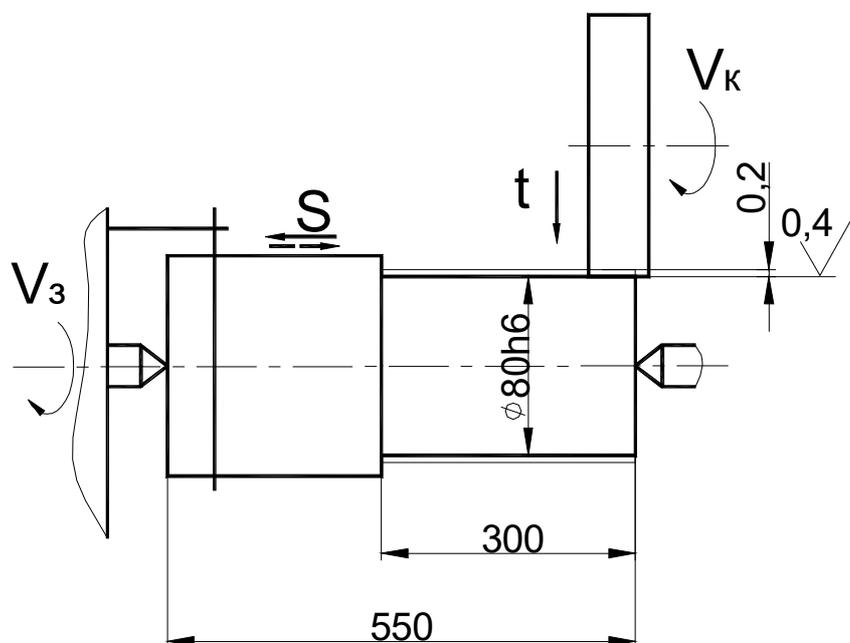
1. Какие абразивные материалы Вам известны и какое принято обозначение зернистости?

2. Особенности использования связок?

3. Чем необходимо руководствоваться при выборе твердости шлифовального круга?

4. Расшифровать марку круга Э40СМ2К5.

5. Выбрать шлифовальный круг, назначить режим резания; определить основное время для обработки шейки вала диаметром $D = 80\text{h}6$ мм длиной $l = 300$ мм, длина вала $l_1 = 550$ мм на круглошлифовальном



станке 3М131. Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,4$ мкм. Припуск на сторону 0,2 мм. Материал заготовки – сталь 45 закаленная, твердостью HRC45.

Рис.42. Эскиз обработки

Литература:

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304с.

2. Кожевников, Д.В. Режущий инструмент [Текст / Д.В. Кожевникови др. – М.: Машиностроение, 2005

1. Мелентьев, Г.А. Резание материалов. Учебник / Г.А. Мелентьев, А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин. – М.: Юрайт , 2019. 512 с.

ISBN: 978-5-94178-135-5

2. Чемборисов, Н.А. – отв. ред. Резание материалов. Режущий инструмент. Учебник. В 2 частях. Часть 1. / С. Н. Григорьев, В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, И.А. Савин, Н. Чемборисов.- М.: Юрайт, 2017. – 264 с.

ISBN: 978-5-534-02278-0

3. Чемборисов, Н.А. – отв. ред. Резание материалов. Режущий инструмент. Учебник. В 2 частях. Часть 1. / С. Н. Григорьев, В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, И.А. Савин, Н. Чемборисов.- М.: Юрайт, 2017. – 246 с.

4. Дроздов, Ю.Н., Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

5. 1. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учебник .— Москва : Лань", 2016 .— 320 с. — ISBN 978-5-8114-0833-7 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=86015