

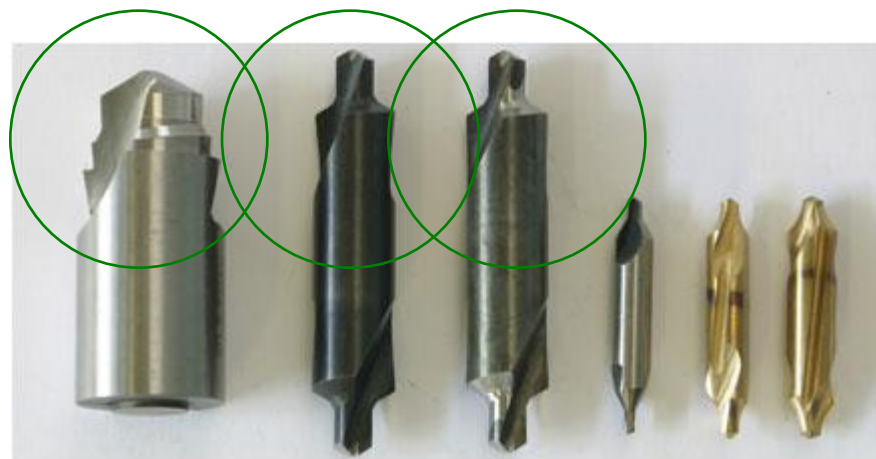
Общие вопросы проектирования режущих инструментов

Основные принципы работы и
конструктивные элементы
режущих инструментов

- Режущие инструменты применяют для образования требуемых формы и размеров поверхностей заготовок резанием, срезанием сравнительно тонких слоев материала (стружки).
- Несмотря на большое различие отдельных видов инструментов по назначению и конструкции, у них имеется много общего: условия работы, общие конструктивные элементы и способы их обоснования, принципы расчета.
- Основные определения и обозначения общих понятий по режущим инструментам и обработке резанием даны соответственно в

У всех режущих инструментов имеются рабочая и крепёжная части.

- **Рабочая часть** выполняет основное служебное назначение — резание, удаление излишнего слоя материала.
- **Крепёжная часть** служит для установки, базирования и закрепления инструмента в рабочем положении на станке (технологическом оборудовании).





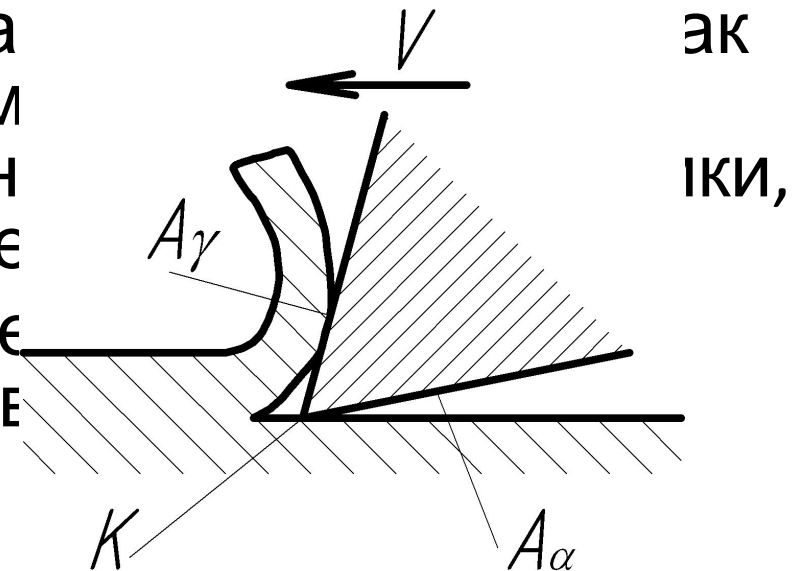
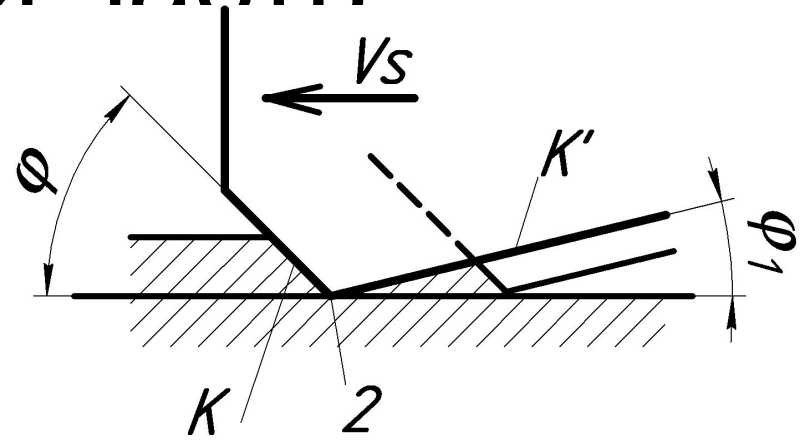
Неявно выраженная крепежная часть

Рабочая часть

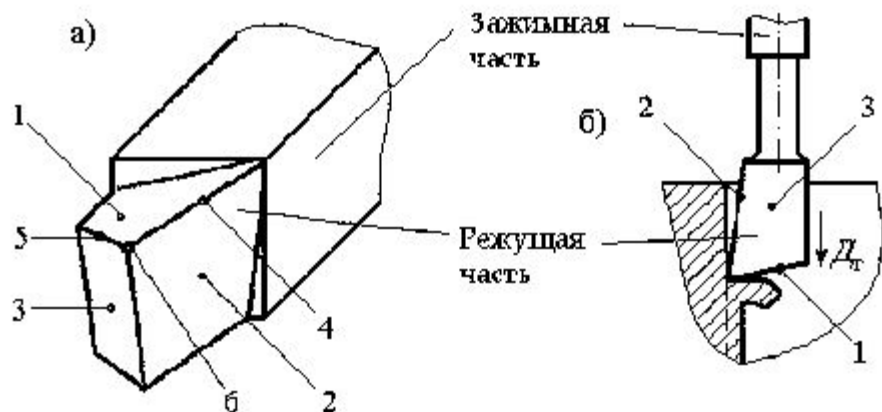
- В рабочей части различают участок с режущими зубьями, предназначенный для снятия припуска, и участок с калибрующими зубьями, предназначенный для удаления оставшегося припуска после срезания его основной части режущими зубьями, и окончательного формирования обработанной поверхности заготовки; кроме них бывают участки с переходными и выглаживающими зубьями.

Рабочая часть

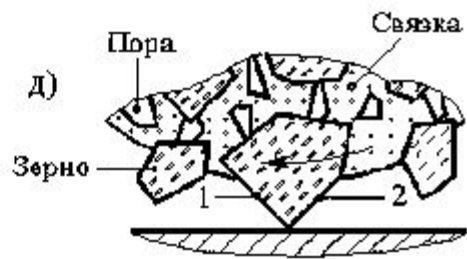
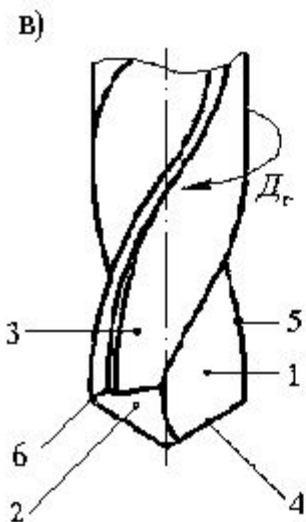
- Срезание стружки осуществляют инструментом клинообразной формы, передним A_γ и задним A_α углами. В пересечении образует r
- По числу лезвий (зубьев), могут быть инструменты одно- и многолезвийные (одно- и многозубые). На зубьях, как и многолезвийных инструментах, главная K и вспомогательная K' режущие кромки образуют в
- Различают зубья черновые, чистовые и калибрующие в сечениях срезаемых слоев



Составные части и рабочие поверхности инструментов



а – токарного резца,
 б – долбежного резца,
 в – спирального сверла,
 г – слесарного зубила,
 д – зернен абразивного
 инструмента



1 – передняя поверх-
 ность, 2 – главная задняя
 поверхность, 3 – вспомо-
 гательная задняя поверх-
 ность, 4 – главная режу-
 щая кромка, 5 – вспомо-
 гательная режущая кро-
 мка, 6 – вершина режу-
 щего лезвия.

Конструктивные элементы режущих инструментов

- Передней поверхностью (1) называется поверхность, по которой сходит образующая в процессе резания стружка.
- Главной задней поверхностью (2) называется поверхность, обращенная к поверхности резания.
- Вспомогательной задней поверхностью (3) называется поверхность, обращенная к обработанной поверхности.

Конструктивные элементы режущих инструментов

- Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называется главной режущей кромкой (4). Пересечением передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образуется вспомогательная режущая кромка (5).
- Точка пересечения главной (4) и вспомогательной (5) режущих кромок называется вершиной (6) режущего лезвия (резца, режущего зуба).

Кинематика резания

- Для осуществления процесса резания лезвие инструмента перемещается относительно обрабатываемой поверхности заготовки, совершая главное движение D_r резания со скоростью v , необходимое для удаления поверхностного слоя материала заготовки — срезания припуска. Кроме того, инструмент совершает движение подачи D_s со скоростью v_s , меньшей скорости v .

Кинематика резания

- Движение подачи предназначено для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.
- В процессе обработки данного участка поверхности заготовки главное движение осуществляется непрерывно. Движение же подачи может быть непрерывным и прерывистым.
- Главное движение D_r со скоростью v_r , движение подачи D_s со скоростью v_s создают суммарное результирующее движение резания D_e со скоростью v_e .

- В зависимости от вида главного движения D_r создается конструкция инструмента: при вращательном главном движении инструмент имеет форму тела вращения с зубьями по периферии, торцу. Если вращательное главное движение сообщается заготовке, то инструмент может быть более простой формы и иметь даже один режущий элемент, например резец, совершающий движение подачи D_s параллельно, перпендикулярно или наклонно относительно оси главного вращательного движения (оси обрабатываемой поверхности заготовки).

- Движение подачи D_s — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.
- Движение подачи может быть продольным и поперечным. При применении многих инструментов движение подачи образуется кинематикой станка, но есть многозубые инструменты, при применении которых поперечное смещение траекторий, образуемых лезвиями инструмента в их главном движении для снятия всего припуска, осуществляется не механизмами станка, а соответствующим смещением лезвий в конструкции инструмента относительно его базовых поверхностей.

- Лезвия последующих зубьев этих инструментов в процессе главного движения перемещаются не по одной и той же траектории, а по траекториям, смещенным относительно траекторий предыдущих зубьев. Это смещение траекторий последующих режущих кромок многозубого инструмента необходимо для снятия всего припуска. Оно обеспечивается не движением, осуществляемым инструментом или заготовкой (как указано выше), не кинематикой и механизмами станка, а конструктивным исполнением инструмента, и по сути своей соответствует подаче на зуб.
- В отличие от подачи на зуб назовем это смещение конструктивным обеспечением срезания припуска. Изменение положения режущих кромок последующих зубьев определяет толщину срезаемых слоев материала и применяется в многолезвийных инструментах (протяжках, метчиках и др.).

- Применение конструктивного обеспечения срезания припуска позволяет за один рабочий ход инструмента осуществить обработку и формообразование поверхности детали, в том числе и сложной, обеспечивает повышение производительности процесса и точность обработанных поверхностей, упрощает конструкцию (кинематику) станка (необходимо только одно главное движение)

Геометрические параметры рабочей части

- Слой материала заготовки отделяет лезвие инструмента, режущая кромка которого образуется пересечением передней и задней поверхностей, а положение этих поверхностей зависит от геометрических параметров инструмента.
- Для обеспечения эффективной работы режущего инструмента поверхности его режущего лезвия должны располагаться определенным образом относительно направления движения резания

Геометрические параметры рабочей части

- Для рассмотрения геометрических параметров режущей части инструмента устанавливаются системы координатных плоскостей, а так же плоскость резания и основная плоскость

Геометрические параметры рабочей части

- Для контроля режущего инструмента применяется **инструментальная система координат** с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.
- **Статическая система координат** – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.
- **Кинематическая система координат** – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания

Геометрические параметры рабочей части

- Геометрические параметры (углы) режущего инструмента рассматриваются в указанных системах координат. В статической – как геометрические параметры твердого тела – неподвижного предмета, в кинематической – как углы работающего инструмента в процессе резания.

- Основной плоскостью P_v называется координатная плоскость, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению главного движения (вектору скорости резания).

Для случая токарной обработки она параллельна продольной и поперечной подачам и параллельна опорной поверхности (основанию) призматической зажимной части резца.

- Плоскостью резания P_n называется координатная плоскость, касательная к главной режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.
- Плоскость, проходящая через рассматриваемую точку главной режущей кромки перпендикулярно основной плоскости и параллельно направлению движения подачи, называется рабочей плоскостью P_s .

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

- Нормальной секущей плоскостью P_H называется секущая плоскость, проходящая перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.
- Главной секущей плоскостью P_T называется секущая плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку в рассматриваемой

Основными геометрическими элементами лезвия являются:

- передний угол γ — угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия A_γ и основной плоскостью P_v
- главный задний угол α — угол в секущей плоскости между задней поверхностью A_α лезвия и плоскостью резания P_n
- угол наклона режущей кромки λ — угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

Основными геометрическими элементами лезвия являются:

- угол в плане ϕ — угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью, т. е. угол между проекцией режущей кромки (касательной и режущей кромке в рассматриваемой точке) на основную плоскость и вектором скорости подачи;
- вспомогательный угол в плане ϕ_1 — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и вектором, обратным направлению скорости подачи

Углы в плане

- В плане, то есть в проекции на основную плоскость, рассматриваются следующие углы:
 - главный угол в плане ϕ ,
 - угол при вершине в плане ε ,
 - вспомогательный угол в плане ϕ_1 .

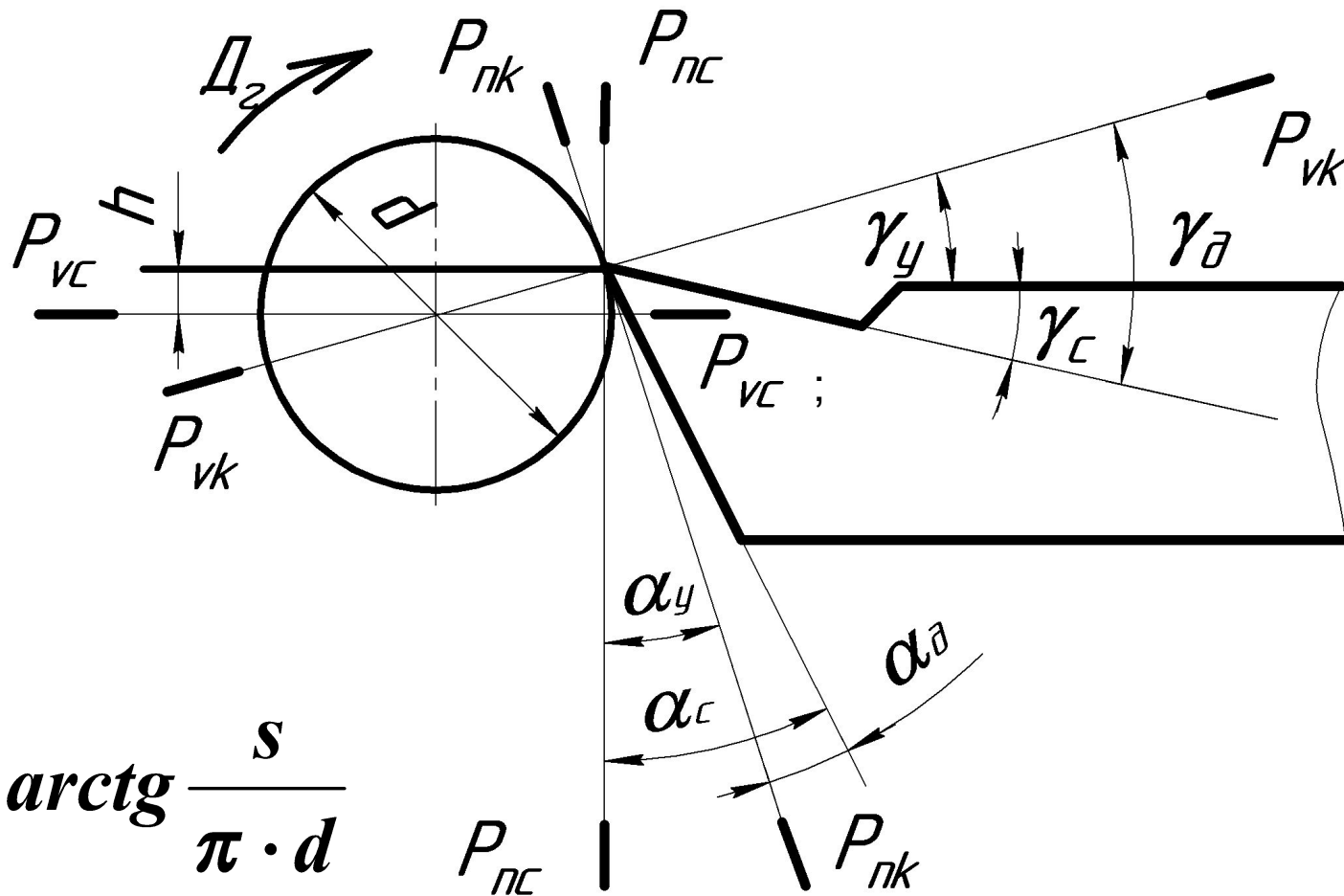
Эти углы связаны между собой зависимостью:

$$\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$$

- Углы в статической системе координат называются статическими углами, углы в кинематической системе координат – кинематическими.
- Величина кинематических углов отличается от величины статических на величину кинематического угла скорости резания η , угла между векторами скорости резания v и скорости результирующего движения v_e .

$$\mathit{tg} \eta = \frac{s}{\pi \cdot d}$$

Зависимость величины переднего и заднего углов от установки резца



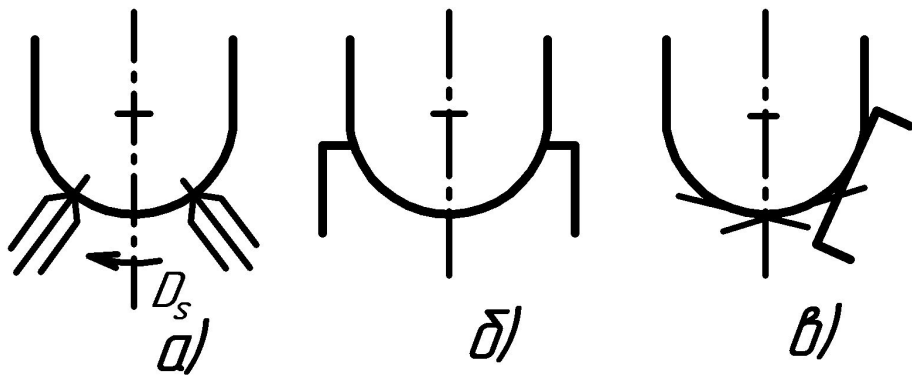
$$\eta = \arctg \frac{s}{\pi \cdot d}$$

- Изменение углов инструмента при резании тем больше, чем меньше диаметр обрабатываемого изделия и больше подача.
- При установке, например, резца выше центра задний угол уменьшается, а передний – увеличивается. При установке резца ниже центра увеличивается задний угол и уменьшается передний.

Формообразование поверхности и схемы резания

- Окончательное формообразование поверхности детали может быть осуществлено методами следа, копирования и огибания. Они определяются формой главного движения D_r , движения подачи D_s и формой режущей кромки.

Схемы формообразования и резания



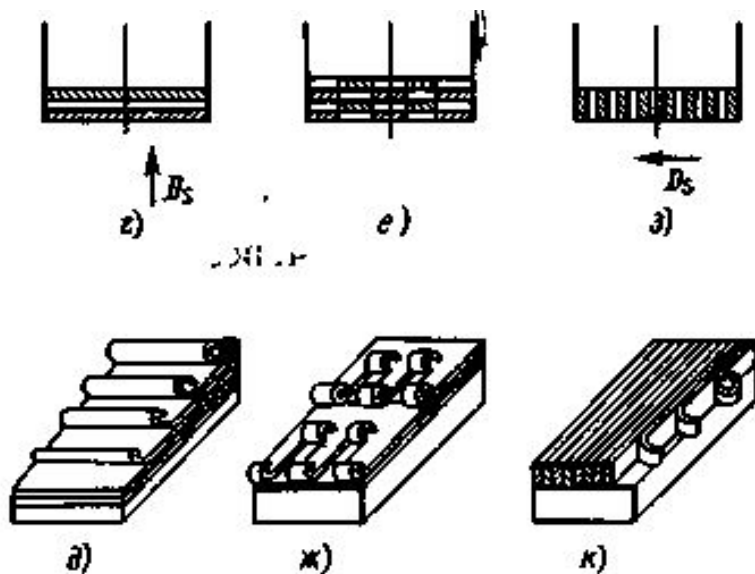
- Поверхность, обработанная методом следа, образуется вершиной режущей кромки в соответствии с формой траектории движения D_s подачи

При формообразовании методом копирования поверхность (профиль) детали образуется одновременно всеми точками режущей кромки, т. е. копируется (рис. б).

При формообразовании методом огибания требуемая поверхность детали образуется точкой (или участком) режущей кромки, перемещающейся по поверхности в процессе обработки за счет кинематики процесса обработки (согласованных перемещений инструмента и заготовки: винтообразных, обкатных и др.)

Схемы формообразования и резания

Последовательность удаления припуска режущими инструментами определяется схемами резания.



Применяют схемы
профильного или
одинарного резания,
группового или
переменного резания и
генераторную

Схемы резания

- При **профильной схеме резания** движение подачи D_s перпендикулярно обрабатываемой поверхности, последующие работающие режущие кромки по форме подобны, припуск снимается широкими и тонкими слоями.
- Окончательное образование обработанной поверхности осуществляется **последним режущим и калибрующими зубьями.**

Схемы резания

- При схеме **группового** или **переменного резания** припуск по ширине делится на отдельные участки и снимается сравнительно узкими и толстыми слоями, поэтому сила резания на единицу площади срезаемого слоя получается меньше.
- Окончательное формирование поверхности осуществляется **не одной кромкой, а группой последних режущих кромок**, из-за чего качество обработанной поверхности получается хуже, чем при первой схеме. Эту схему в основном применяют при обработке **черновыми зубьями**.

Схемы резания

- При **генераторной схеме резания** подача осуществляется параллельно образуемой поверхности детали.
- Окончательно обработанная поверхность образуется **последовательно всеми зубьями инструмента**. Качество поверхности хуже, чем при первой схеме резания.

**Основные
конструктивные
элементы режущих
инструментов**

Зуб и стружечная канавка многозубых (многолезвийных) инструментов

- Одними из основных общих конструктивных элементов режущих инструментов являются зуб и у многозубых (многолезвийных) инструментов стружечная канавка (впадина между зубьями)

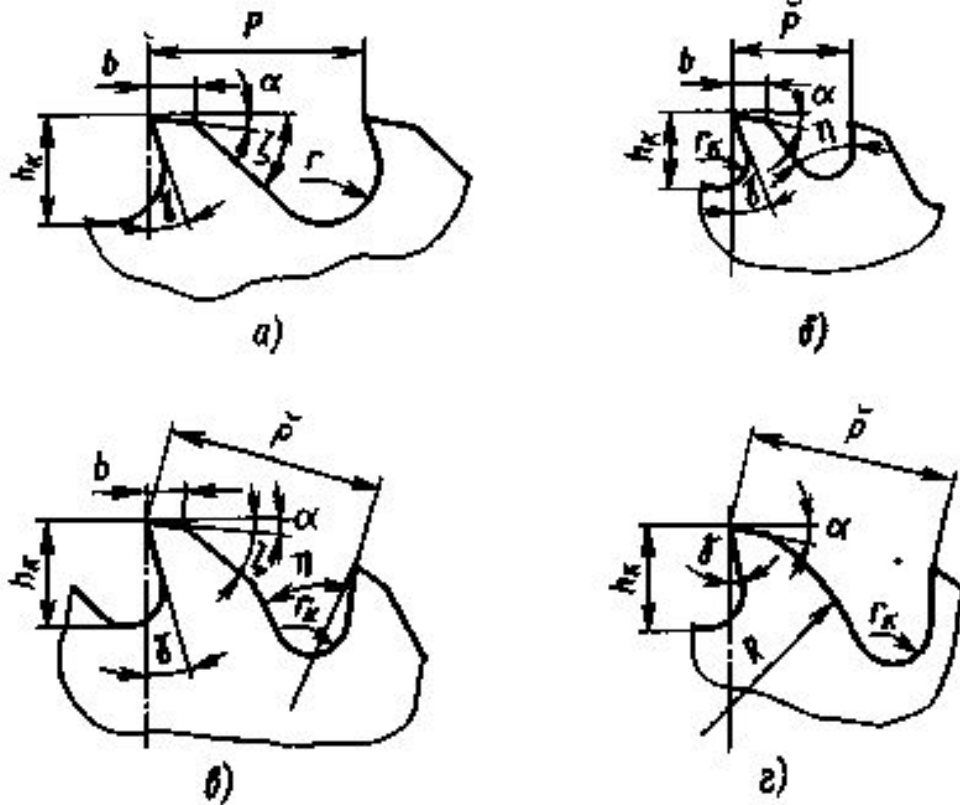
Зуб и стружечная канавка многозубых (многолезвийных) инструментов

- Зуб — основной рабочий элемент инструмента, срезающий припуск с обрабатываемой заготовки при совершении движений резания.
- Рабочие и нерабочие поверхности зуба выполняют по плоскостям или криволинейным поверхностям (затыловочным, винтовым, круговым, цилиндрическим, коническим и др.).

Зуб и стружечная канавка многозубых (многолезвийных) инструментов

- Форма зуба и впадины (стружечной канавки) зависят от шага p зубьев, переднего γ и заднего α углов, ширины b задней поверхности, формы передней поверхности, высоты канавки h_k , радиуса r_k закругления дна впадины, формы и положения спинки зуба.

Типовые формы зубьев и впадин многозубых инструментов



- а — с прямолинейным главным движением,
- б—г — с вращательным главным движением

- По расположению зубьев и стружечных канавок многолезвийных инструментов относительно направления скорости главного движения резания различают инструменты с прямолинейными направляющими линиями передней поверхности лезвия, расположенными различно по отношению к направлению скорости главного движения:

перпендикулярно к нему - прямозубые инструменты,

под углом к нему - косозубые инструменты.

У инструментов с винтовым зубом направляющая передней поверхности лезвия является винтовой линией.

- Форма зуба должна обеспечить процесс срезания стружки, воспринять силу резания; для этого зуб должен обладать необходимыми прочностью и жесткостью; тело его должно обеспечить отвод от режущей кромки теплоты, образующейся в процессе резания, в тело инструмента.

Крепежная часть режущего инструмента

Она служит для установки и закрепления инструмента в технологическом оборудовании.

- Она должна воспринимать силовую нагрузку процесса резания (крутящие, изгибающие, растягивающие и сжимающие напряжения в их совокупности), обеспечивать виброустойчивость (жесткость) режущей части инструмента.
- У многих видов инструментов крепежная часть явно выражена и отделена от рабочей части (у резцов, сверл и т. п.), у некоторых видов инструментов крепежная часть входит в рабочую часть (например, у насадных режущих инструментов - фрез).
- Оформление крепежной части зависит от конструкции инструмента.

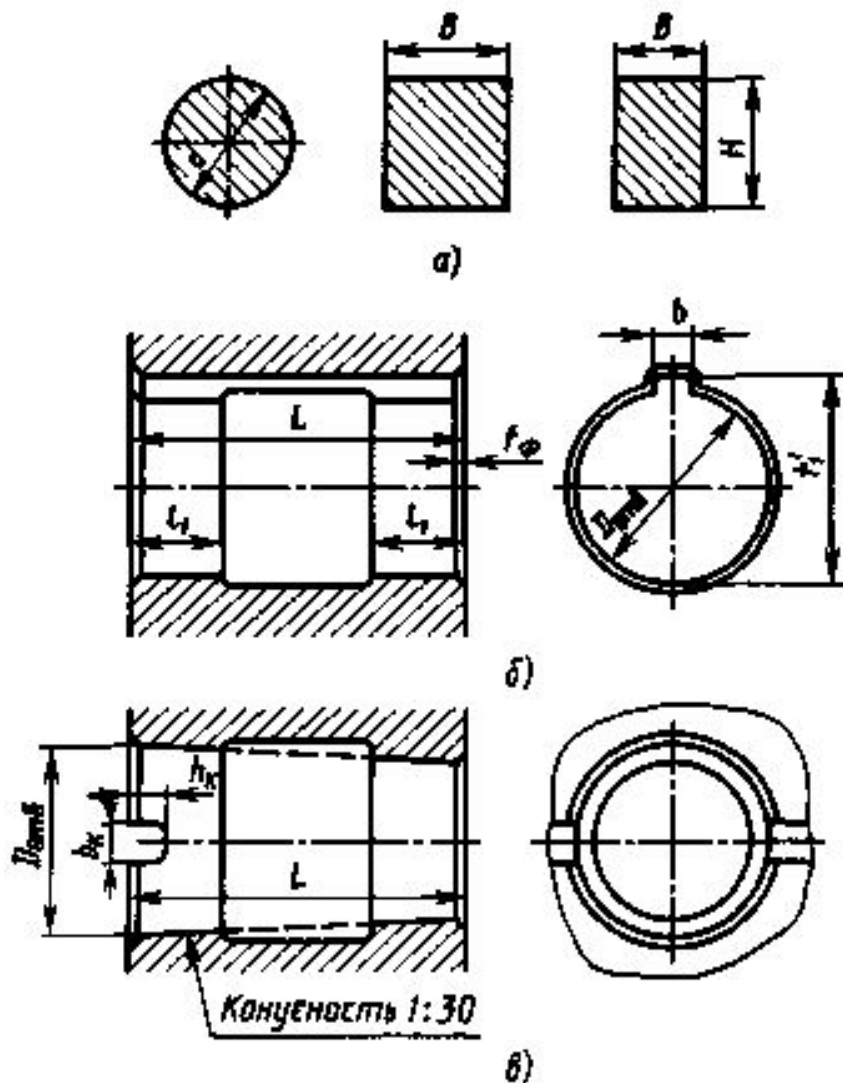
Крепежная часть режущего инструмента

- При вращательном главном движении инструмента крепежную часть выполняют в виде посадочного отверстия у насадных и дисковых цилиндрических инструментов или в виде хвостовика у хвостовых режущих инструментов.
- Насадные инструменты имеют цилиндрическое или коническое посадочное отверстие.
- Диаметры отверстий стандартизованы: 8, 10, 13, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50, 60, 70, 80 и 100 мм- ((ГОСТ 9472—83), их выполняют с допуском по 7-му (H7) или 6-му (H6) качеству).

Крепежная часть режущего инструмента

- Сила резания и крутящий момент у насадных инструментов передаются на оправку, на которой установлен инструмент. Оправка должна быть рассчитана на прочность и жесткость.
- Для передачи крутящего момента делают продольную шпоночную канавку шириной $b = 2...25$ мм с предельным отклонением С11 и глубиной t паза с отклонением Н12. В основании канавки делают закругление $R = 0,3...2,2$ мм во избежание возможной концентрации напряжений при термообработке инструмента.

Крепежная часть режущего инструмента

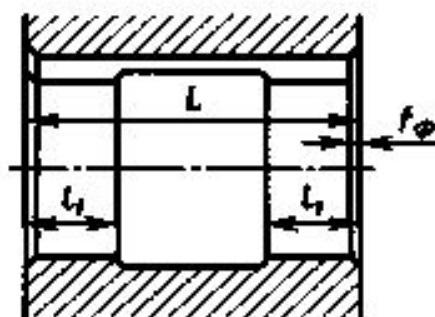


Конические посадочные отверстия имеют больший диаметр того же размера, что и цилиндрические отверстия и конусность 1:30. Для передачи крутящего момента делают торцовый шпоночный паз

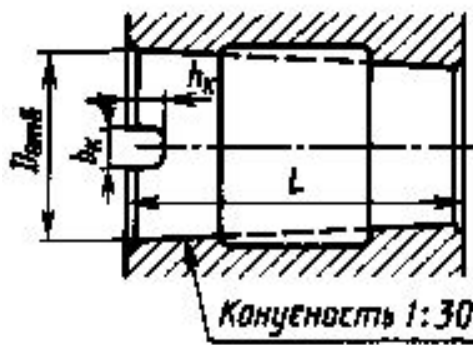
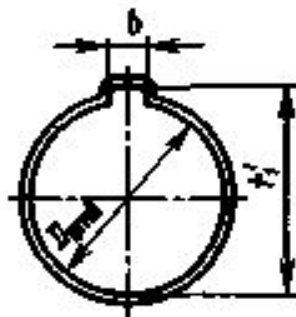
Крепежная часть режущего инструмента



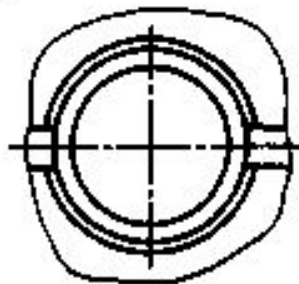
а)



б)



в)



С обеих сторон цилиндрических и конических отверстий делают фаски $1,5 \times 45^\circ$.

В середине отверстия **для уменьшения длины точной посадочной поверхности** делают выточку глубиной 1 мм с оставлением точно обработанных поясков на длине $l_i = (1/3 \dots 1/4)L$, где L — длина отверстия.

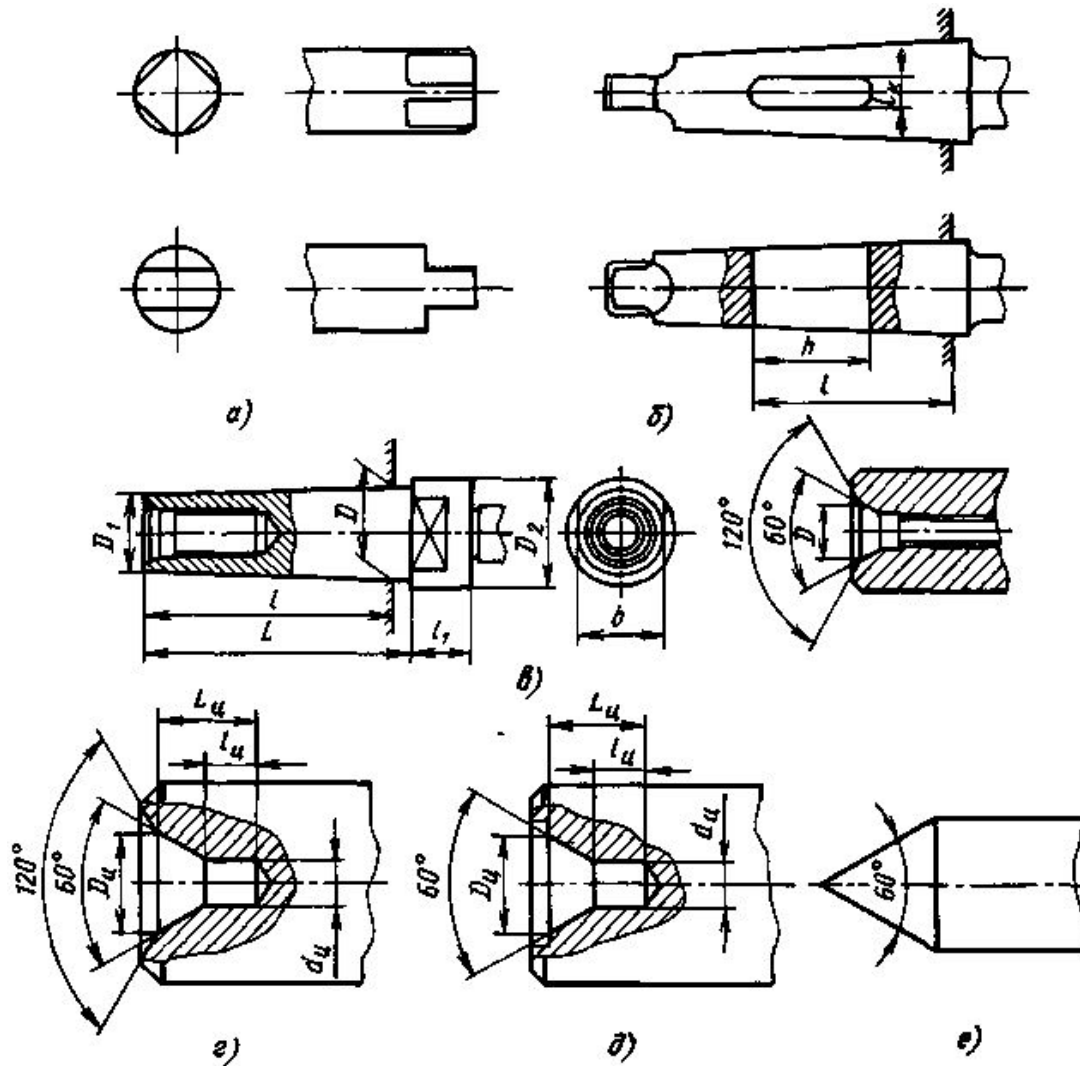
Крепежная часть режущего инструмента

- Хвостовые инструменты имеют крепежную часть в виде цилиндрического или конического хвостовика. Диаметры цилиндрических хвостовиков установлены ГОСТ 9523—84.
- Для передачи крутящего момента конец цилиндрического хвостовика делают квадратным или при малых диаметрах с двусторонним или односторонним срезом.
- Конические хвостовики имеют конус Морзе, их делают с лапкой или без лапки, метрические хвостовики имеют конусность 7:24.

Крепежная часть режущего инструмента

- Лапка предназначена **для выбивания инструмента из шпинделя станка.**
- Крутящий момент должен **передаваться силами трения между хвостовиком и коническим отверстием шпинделя станка.**
- У хвостовиков без лапок **для лучшего крепления и предохранения от возможного отжатия под действием осевой составляющей силы резания** в наружном торце конуса делают внутреннее резьбовое отверстие для затяжки болтом, проходящим через отверстие в шпинделе станка.

Крепежная часть режущего инструмента



Инструменты составной и сборной конструкции

- С целью экономии материала рабочей части, а также облегчения и возможности изготовления режущие инструменты делают **составной** и **сборной** конструкции.

Инструменты составной и сборной конструкции

- Составной инструмент — **режущий инструмент с неразъемным соединением его частей**, сборный — **с разъемным соединением частей**.
- При этом режущую часть изготавливают из инструментального материала, а крепежную часть — из конструкционной стали.

Инструменты составной и сборной конструкции



Инструменты составной и сборной конструкции

- Применяют различные виды неразъемных соединений.
- Соединение рабочей части (из быстрорежущей стали) с хвостовой (из конструкционной стали) у хвостового инструмента производят сваркой встык; режущие пластины из инструментальных материалов (твердых сплавов, сверхтвердых материалов и пр.) к корпусу инструмента припаивают, приклеивают или крепят другими способами.
- Неразъемное крепление режущих элементов применяют в том случае, если невозможно сделать разъемное соединение.

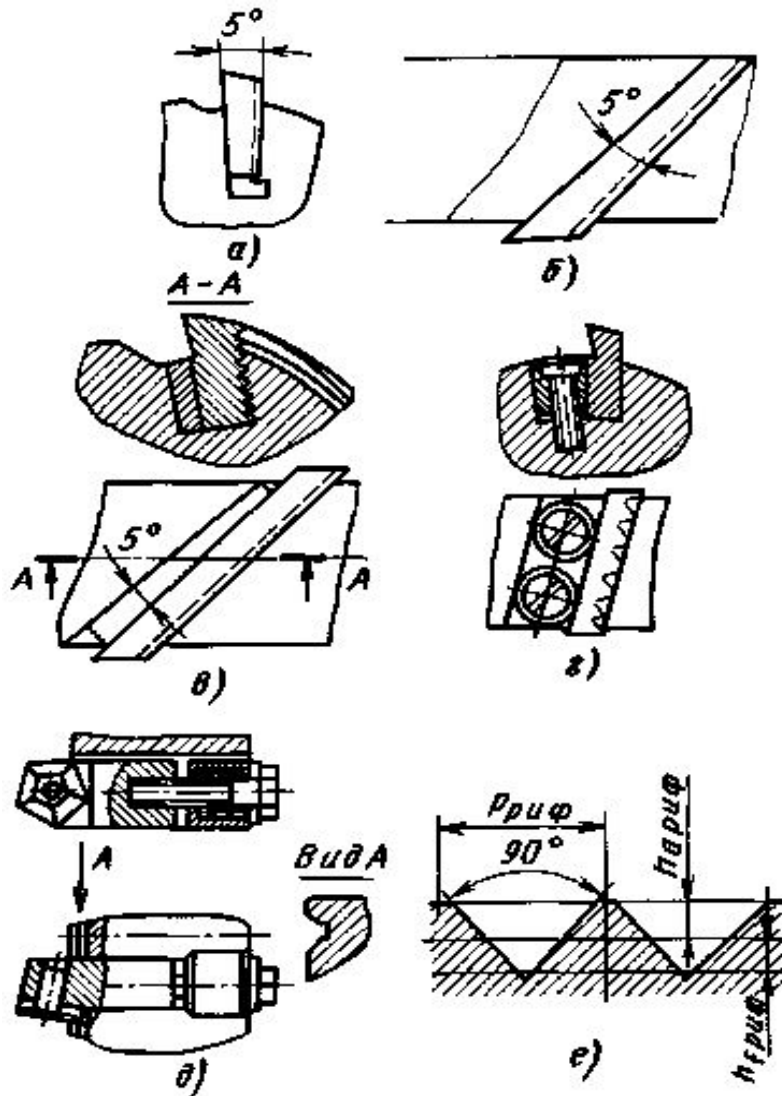
Инструменты составной и сборной конструкции

- При разъемных соединениях режущую часть (нож, пластину) закрепляют на корпусе инструмента различными способами, ее можно перемещать и снимать для регулирования, заточки, замены.
- Режущий элемент устанавливают или непосредственно на корпусе инструмента или на ноже (вставке), который уже закрепляют в корпусе.
- Сборный инструмент должен обеспечивать жесткость, прочность, виброустойчивость, надежность крепления, точность базирования, возможность быстрой и надежной замены

Инструменты составной и сборной конструкции

- Большое распространение получают сборные инструменты с многогранными твердосплавными пластинами
- В сборных конструкциях применяют ножи из быстрорежущей или конструкционной стали, оснащенные пластинами из твердого сплава, минералокерамики, СТМ, ножи клиновидной формы с рифлениями по задней опорной поверхности или призматические ножи также с рифлениями по опорной поверхности, закрепляемые в пазах корпусов инструментов с помощью клиньев, винтов или другими способами

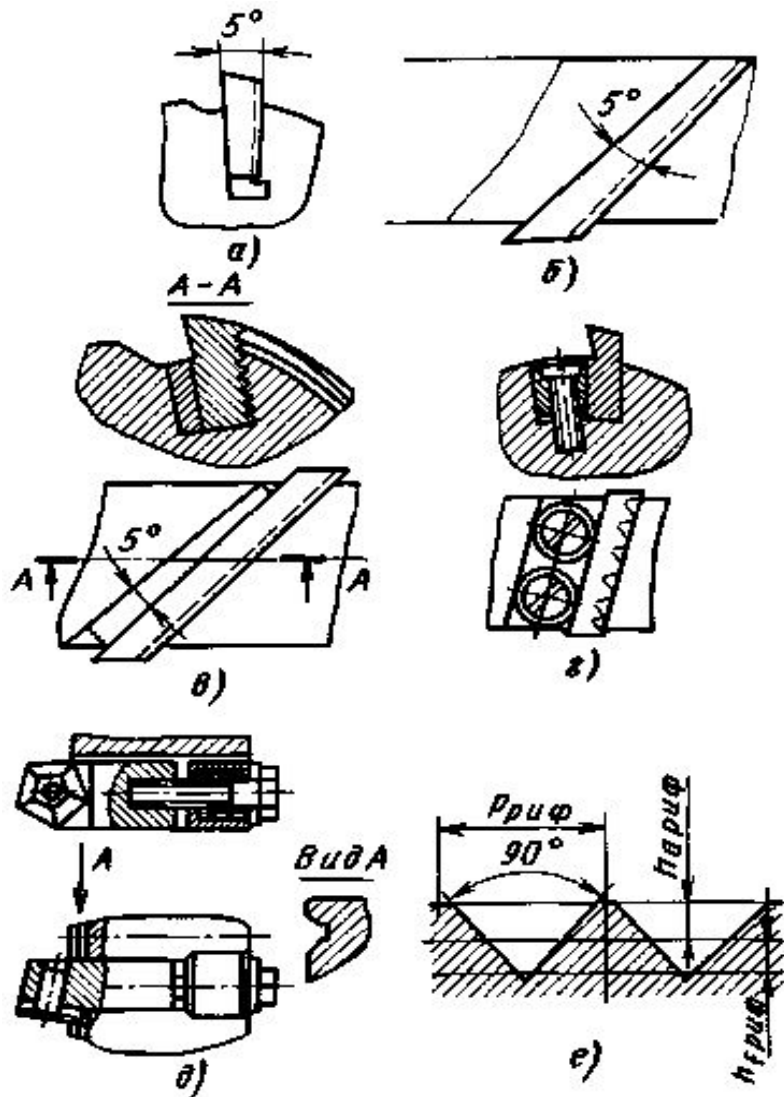
Инструменты составной и сборной конструкции



Виды крепления режущих элементов сборных инструментов

- ножи клиновидной формы с рифлениями по задней опорной поверхности (рис. а и б)
- призматические ножи с рифлениями по опорной поверхности, закрепляемые в пазах корпусов инструментов с помощью клиньев (рис. в), винтов (рис. г) или другими способами (рис. д).

Инструменты составной и сборной конструкции



Исполнительные размеры регулируют или перестановкой по рифлениям (грубое регулирование) или перемещением вдоль наклонно расположенных пазов (точное регулирование).

Для регулирования исполнительных размеров применяют также подкладки, клинья и торцовые регулировочные винты.

Проектирование режущих инструментов

- Основными исходными данными для проектирования являются:
 - технические требования к изделию,
 - применяемое оборудование,
 - требуемая производительность.

Этапы проектирования

- 1. **Расчет конструктивных размеров инструментов.**

Этот расчет имеет особенности в зависимости от конкретной конструкции и назначения инструмента. Конструктивные параметры, которые определяются по так называемым конструктивным соображениям или принимаются на основе имеющегося опыта, должны быть для данной конкретной конструкции проверены контрольным прочерчиванием. Для возможности автоматизации расчета и применения ЭВМ эти соображения следует формализовать

Этапы проектирования

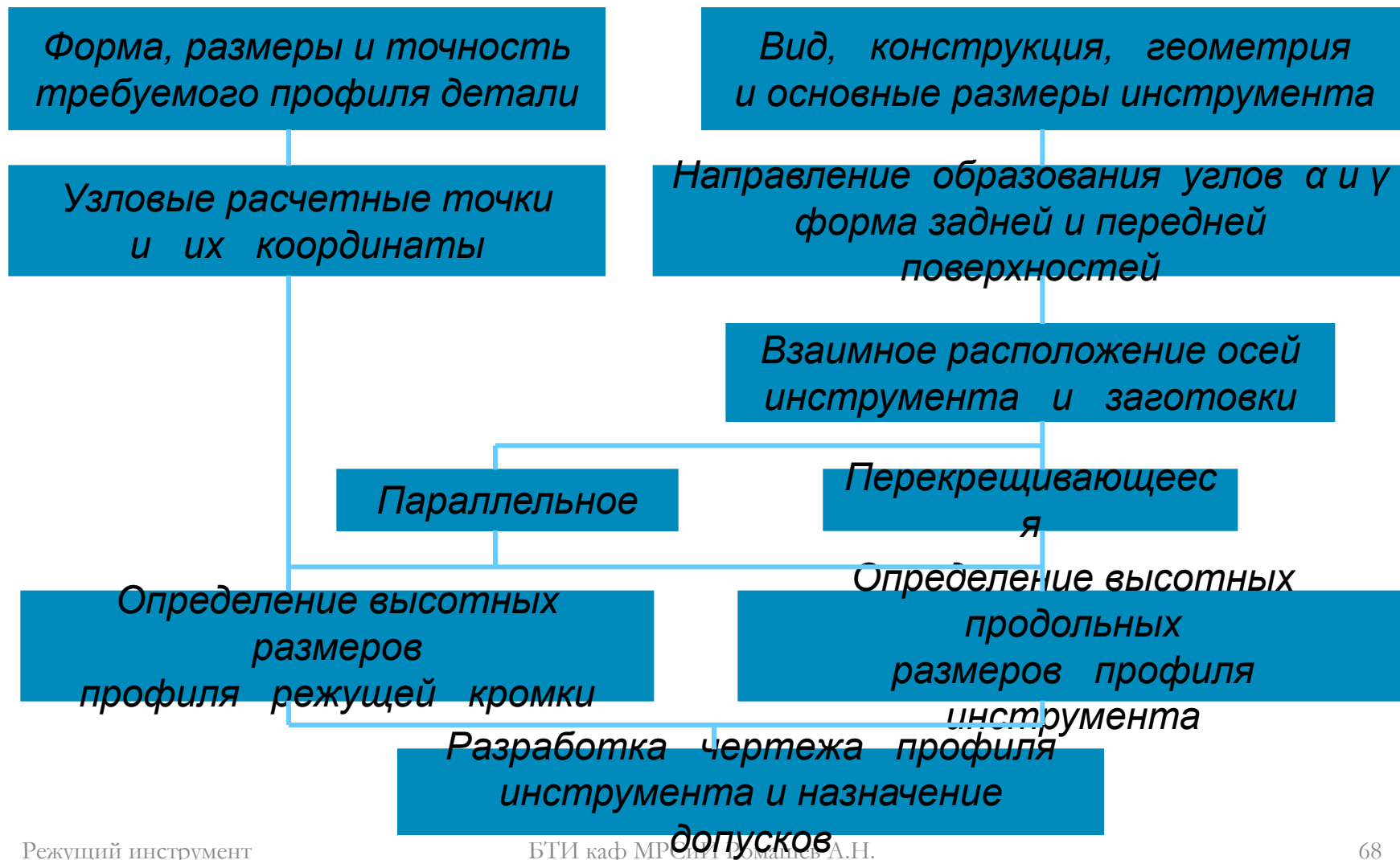
- 2. **Назначение и определение кинематических геометрических параметров**, т. е. определение связей зависимостей инструментальных станочных и кинематических геометрических параметров.

Этапы проектирования

- 3. **Профилирование**, т. е. определение профиля режущей кромки, обеспечивающего получение требуемого профиля детали; применяют для инструментов с формообразованием методами копирования и огибания. При этом учитывают влияние положения передней и задней поверхностей лезвия (передние γ и задние α углы) инструмента на форму и размеры режущей кромки, и отличие задних поверхностей от требуемой поверхности (профиля) заготовки.

Производят так называемый коррекционный расчет профиля режущего инструмента

Схема коррекционного расчета профиля режущего инструмента



Этапы проектирования

- 4. **Расчет на прочность и жесткость**, как самого инструмента, так и связанных с ним вспомогательных инструментов, размеры которых определяются размерами проектируемого инструмента, например расчет жесткости оправок.

Схема расчета зависит от вида инструмента и условий его работы.

Этапы проектирования

- 5. **Расчет размеров и точности конструктивных параметров инструмента**, размеров его режущей части, положения рабочей части относительно установочных (базовых) поверхностей инструмента.

- Точность размеров обработанных поверхностей детали зависит не только от режущего инструмента, но и от вида обработки, состояния оборудования, материала заготовки и других технологических условий.
- Размеры обработанной поверхности заготовки могут отличаться от исполнительных размеров инструментов

- При назначении исполнительных размеров инструмента следует учитывать, что инструмент в процессе эксплуатации изнашивается, и размеры его рабочей части будут изменяться; кроме того, следует учитывать степень точности изготовления инструмента и допуск на его изготовление, который устанавливают в зависимости от технологических возможностей изготовления.
- Допуск $\Delta A_{\text{изн}}$ на износ для повышения срока службы инструмента должен быть по возможности большим.

- Допуск ΔA исполнительного размера поверхности заготовки, зависящий от инструмента, делится на три части:
 - допуск $\Delta A_{\text{разб}}$ на разбивку,
 - допуск $\Delta A_{\text{изг}}$ на изготовление инструмента,
 - допуск $\Delta A_{\text{изн}}$ на износ.

$$\Delta A = \Delta A_{\text{разб}} + \Delta A_{\text{изг}} + \Delta A_{\text{изн}}$$

Каждый из этих допусков устанавливают для конкретных инструментов и условий обработки. Если трудно определить каждый из составляющих этих допусков, то их принимают равными **одной трети допуска ΔA** .

- Для повышения точности работы инструмента необходимо **соблюдение единства баз установки инструмента при работе, изготовлении и контроле**. Однако не всегда такое единство может быть обеспечено: обработка, эксплуатация и контроль могут осуществляться от разных баз, например, обработка производится от центров, а установка при эксплуатации — от хвостовика.
- Это нежелательно и требует соответствующего ужесточения допусков на **элементы конструкции инструмента**.

- На чертеже инструмента должны быть показаны необходимые проекции, обеспечивающие полное представление об инструменте (обычно две или три).
- Дополнительно у многолезвийных (многозубых) инструментов указывают размеры зубьев, стружечных канавок и элементы лезвия, у фасонных инструментов приводят форму режущей кромки (со всеми необходимыми размерами).
- На всех поверхностях инструментов должны быть указаны требуемые параметры шероховатости поверхности по ГОСТ 2.309—73, 2789—73.
- Все основные размеры и особенно размеры рабочих элементов указывают с допусками (ГОСТ 25346—82, 25347—82 и стандарты по видам инструментов).

- На чертеже указывают материал режущей части и, если корпус инструмента и его крепежная часть изготавливаются из разных материалов, метод их соединения, твердость рабочей и крепежной частей, основные технические требования по точности изготовления отдельных конструктивных элементов, в том числе точность расположения режущих кромок относительно установочных поверхностей — биение относительно оси, concentricity и пр.
- Указывают место маркировки и ее текст (основной размер рабочих поверхностей, материал режущей части и другие данные, необходимые для правильной эксплуатации инструмента).