

ДЛЯ ВУЗОВ

МЕТАЛЛО· РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебника для студентов машиностроительных специальностей вузов



Москва
•Машиностроение•
1989

ББК 34.63-5я73
М54
УДК 621.9.02.001.63 (075.8)

Авторы: Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой, В. А. Гречишников, А. С. Киселев

Рецензенты: кафедра «Станки и инструмент» Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола, канд. техн. наук, проф. В. Ф. Романов

Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям
М54 «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструмен-
ты»/Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др.—М.: Маши-
ностроение, 1989.—328 с.: ил.
ISBN 5-217-00338-3

Освещены вопросы проектирования режущих инструментов, показаны пути разви-
тия теории и практики их проектирования, направленные на повышение техни-
ческого уровня и конкурентоспособности режущего инструмента, применения системы
автоматического проектирования; описаны конструкции инструментов из новых инстру-
ментальных материалов, приведены перспективы и основные направления дальнейшего
развития теории режущих инструментов.

М $\frac{2704040000-153}{038(01)-89}$ 153—89

ББК 34.63-5я73

ISBN 5-217-00338-3

© Издательство «Машиностроение», 1989

Проектирование металлорежущих инструментов является одной из основных дисциплин при подготовке инженеров по специальностям «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты». Ее изучение должно дать будущим специалистам сведения, необходимые при разработке современных технологических процессов и проектировании станков и инструментов.

От качества, надежности и работоспособности режущих инструментов, применяемых в машиностроении, в значительной степени зависят качество и точность получаемых деталей, производительность и эффективность процесса обработки, в особенности при автоматизированном производстве в условиях гибких производственных систем (ГПС).

При проектировании режущих инструментов необходимы знания теоретических основ конструирования и расчета инструментов с использованием систем ав-

томатизированного проектирования (САПР), нужно уметь правильно определить лучшие для данных условий обработки конструктивные элементы инструментов и создавать оптимальную их конструкцию, учитывая условия эксплуатации, знать основные направления их совершенствования, пути повышения надежности и эффективности, представлять себе возможные направления и перспективы развития режущего инструмента.

В учебнике изложены теоретические основы и общие методологические положения проектирования режущего инструмента; в нем не приведены сведения справочного характера, которые имеются в соответствующих справочниках и специальной производственной литературе. В списке литературы даны основные источники для самостоятельного изучения отдельных вопросов, а также указаны источники отдельных оригинальных разработок.

По сравнению с другими методами получения деталей машин обработка резанием обеспечивает наибольшую их точность и наибольшую гибкость производственного процесса, создает возможности быстрейшего перехода от обработки заготовок одного размера к обработке заготовок другого размера.

Режущий инструмент, срезая сравнительно тонкие слои материала, придает заготовке нужную форму и размеры. Работоспособность режущего инструмента, его надежность оказывают существенное влияние на экономическую эффективность процесса производства.

Потребность в режущем инструменте колоссальна. По некоторым операциям обработки заготовки резанием стоимость инструмента составляет значительную часть стоимости операции.

Режущий инструмент обеспечивает внутренние связи процесса обработки (рис. В.1). Качество и стойкость инструмента во многом определяют производительность и эффективность процесса обработки, а в некоторых случаях и вообще возможность получения деталей требуемых формы, качества и точности. По-

вышение качества и надежности режущего инструмента способствуют повышению производительности обработки металлов резанием.

На решающее значение исполнительного механизма машины, в данном случае станка, еще было указано К. Марксом*: «Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия или рабочей машины... Обе эти части механизма существуют только затем, чтобы сообщить движение машине-орудию, благодаря чему она захватывает предмет труда и целесообразно изменяет его». Говоря о станках, К. Маркс писал, что благодаря им удалось произвести геометрические формы отдельных частей машин с такой степенью легкости, точности и быстроты, которые никакая опытность не могла бы доставить руке искуснейшего рабочего. Далее К. Маркс говорит о том, что как бы прост и на первый взгляд незначителен не казался придаток к станку (инструмент), его влияние на усовершенствование и распространение машин было велико. Введение его разом повело к усовершенствованию и удешевлению всяких машин и дало толчок к новым изобретениям и усовершенствованиям.

Гениальный прогноз, сделанный К. Марксом, оправдал себя на всем пути развития машиностроения.

Режущие инструменты появились в доисторические времена, когда у человека возникла необходимость совершенствовать свою работу. Большое развитие

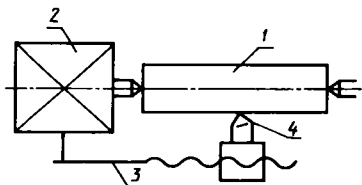


Рис. В.1. Схема связей процесса обработки резанием:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — двигатель; 3 — передаточный механизм; 4 — режущий инструмент

* Маркс К. Капитал. Т.I.M., 1988. С. 384.

инструменты получили со времени использования человеком металлов. При развитии ремесленного производства появляются примитивные ручные токарные и сверлильные станки и для работы на них металлорежущие инструменты — резцы, сверла, напильники и др. Переход к машинной индустрии сопровождался бурным развитием металлорежущего инструмента. Во второй половине XIX в. появляются многие виды режущих инструментов, в конце XIX в. — червячные фрезы для нарезания зубьев зубчатых колес, 20-е годы XX в. — протяжки. И сейчас создаются новые конструкции инструментов и совершенствуются ранее существовавшие.

Повышение эффективности режущих инструментов и их работоспособность взаимосвязаны и во многом зависят от материала режущей части инструмента. Появление новых инструментальных материалов способствовало повышению производительности обработки и потребовало создания новых конструкций металлорежущих станков.

Об изготовлении и использовании достаточно сложных и разнообразных режущих инструментов в России свидетельствуют работы И. М. Ползунова, И. Л. Кулибина и др. А. К. Нартовым, современником Петра I, была создана мастерская, которая именовалась «токарная и инструментальная палата», в ней (по исследованиям А. С. Бриткина и С. С. Видонова) было пять токарных станков для инструментальных дел и производили работы токарные, сверлильные, нарезание резьбы, фрезерование зубьев колес, применяли специальные резцы, в том числе «тупые, которыми медь точат», фасонные полукруглые вогнутые и выпуклые, сверла для обработки дерева и другие специальные инструменты. В больших количествах применяли инструменты на оружейных заводах Тулы и Сестрорецка.

Однако в начале XX в. в России не было своей инструментальной промышленности, были только инструментальные цеха на некоторых крупных машиностроительных и оружейных заводах. Первый отечественный инструментальный завод —

Московский инструментальный завод, был создан в 1919 г. На заводе было налажено производство режущего и измерительного инструмента, а также токарных и сверлильных патронов. На заводе изготавливали различные резцы, сверла, зенкеры, развертки, фрезы, в том числе и червячные, метчики, плашки и многие другие инструменты.

В первые две пятилетки было построено семь специальных заводов по изготовлению режущих инструментов, в том числе гигант инструментальной промышленности завод «Фрезер».

В годы Великой Отечественной войны число инструментальных заводов увеличилось более чем вдвое. В послевоенный период были созданы новые заводы, в том числе специализированные по производству узкой номенклатуры инструментов (например, в Вильнюсе и Фрунзе — заводы по выпуску сверл, во Владивостоке — по выпуску метчиков), на некоторых заводах было организовано крупносерийное производство инструментов на поточных линиях, на станках с программным управлением и ГПС. Это обеспечивает повышение качества инструментов, снижение трудоемкости их изготовления и увеличение выпуска. Кроме заводов по изготовлению режущего стального и твердосплавного инструмента созданы специализированные заводы по производству абразивных, алмазных инструментов и инструментов, оснащенных сверхтвердыми материалами — композитами.

Кроме производства инструмента на специализированных заводах Минстанкопрома в нашей стране имеются инструментальные заводы других машиностроительных министерств и свыше 5000 крупных инструментальных цехов на больших машиностроительных заводах. На специализированных инструментальных заводах организовано производство инструментов для обработки заготовок различных машиностроительных производств (инструментов обезличенного применения). Их изготавливают большими сериями. Это стало возможным благодаря широкой стандартизации конструкций режущих инструментов, их конструктивных параметров и размеров. Первые стандарты (ОСТ) на основ-

ные режущие инструменты были созданы в нашей стране в 20—30-х годах. В настоящее время имеется свыше 500 стандартов на все виды режущих инструментов массового применения. В стандартах установлены основные конструктивные рабочие размеры инструментов, определяющие их служебное назначение, базовые и присоединительные размеры установки инструмента на станке, параметры и технические требования, определяющие качество и работоспособность инструмента.

При массовом и крупносерийном производстве деталей, в особенности в условиях ГПС, рационально применять инструменты, спроектированные с учетом конкретных условий обработки и оборудования; это так называемое адресное проектирование. С развитием производства в условиях ГПС адресное проектирование будет расширяться.

Исходными для проектирования инструмента являются данные об обрабатываемой заготовке, форма и размеры обработанных поверхностей, их требуемая точность и допустимая шероховатость, материал и его технологические свойства, а также технические данные оборудования, на котором будет производиться обработка, необходимая производительность. По этим данным устанавливают вид инструмента, его конструкцию, материал режущей части и основные параметры. Затем рассчитывают конструктивные и геометрические параметры инструмента, определяют исполнительные размеры рабочей части, необходимую точность, назначают допуски, разрабатывают рабочий чертеж.

При проектировании инструментов необходимо выполнять сложные расчеты по определению геометрической формы режущих кромок, обеспечивающих требуемую форму и точность обработанных поверхностей, расчеты по обеспечению прочности и жесткости инструмента, наименьшему расходу материала, наименьшей потребной для обработки мощности и пр. Эти расчеты необходимо проводить с использованием теоретических положений фундаментальных наук и новейших средств вычислительной техники.

Теория проектирования и создания режущих инструментов развивалась на протяжении многих лет. Основы ее были заложены И. И. Семенченко и С. С. Четвериковым, создавшими первые учебники и учебные пособия, а также Г. И. Грановским, Н. А. Шевченко, С. С. Петрухиным. Теоретические положения проектирования отдельных видов инструментов разработаны М. Н. Лариным, А. Н. Грубыным, С. П. Карцевым, В. М. Матюшиным, В. А. Шишковым, А. В. Щеголевым, Ю. В. Цвисом, В. Н. Кедринским и др. Впоследствии основополагающие труды, учебники и учебные пособия были созданы П. Р. Родиным [36], Г. Г. Иноземцевым [13], Г. М. Ипполитовым, С. И. Лашневым [21], В. С. Люкшиным [25], Д. К. Маргулисом, В. Н. Подураевым [31], В. Ф. Романовым, В. Л. Филипповым [48], М. И. Юликовым [21], П. Я. Ящерицыным [30] и др.

В нашей стране в 20-е годы инженером-изобретателем А. П. Игнатьевым была создана специальная лаборатория по разработке и исследованию режущих инструментов, впоследствии названная «Лаборатория режущих инструментов им. А. П. Игнатьева «ЛАРИГ»». На ее основе в годы Великой Отечественной войны был создан Всесоюзный научно-исследовательский инструментальный институт ВНИИинструмент. Кроме того, в настоящее время над вопросами совершенствования режущих инструментов работают сотрудники многих машиностроительных ВУЗов, отраслевых НИИ и заводов.

Основные требования, предъявляемые к режущим инструментам (рис. В.2), определяются их служебным назначением: обеспечением работоспособного состояния инструмента, т. е. состояния, при котором он способен выполнять обработку резанием, получением требуемой формы, размеров и качества обработанной поверхности заготовок, наибольшей производительностью процесса обработки с наименьшими затратами (экономическая эффективность); кроме того необходимо выполнить следующие дополнительные требования: возможность и технологичность изготовления и восстановления

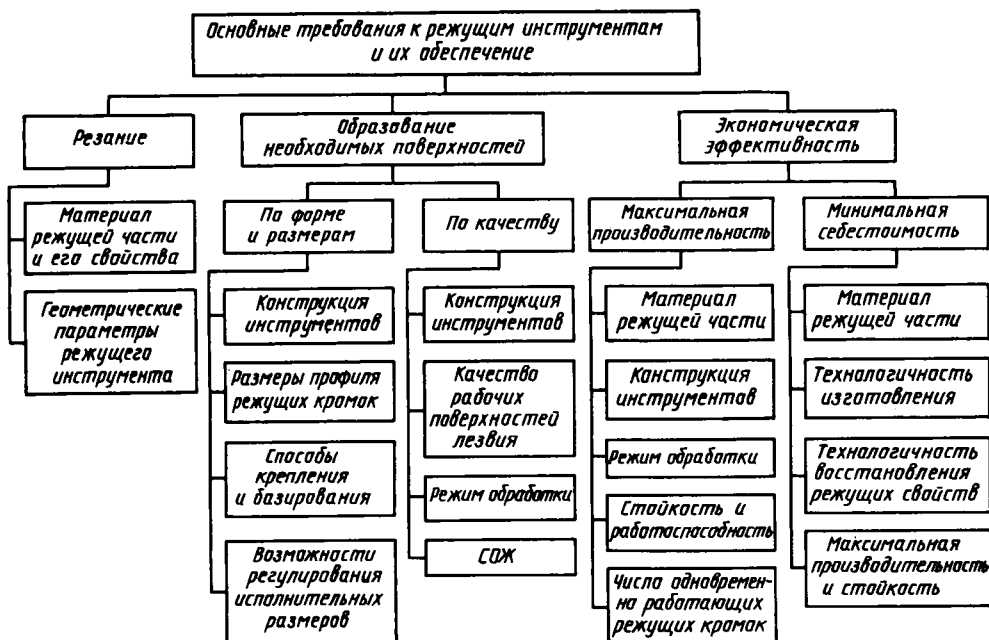


Рис. В.2. Основные требования к режущим инструментам и их обеспечение

режущих свойств в процессе эксплуатации, экономия или минимальный расход дефицитных материалов. Возможности обработки резанием обеспечиваются материалом режущей части инструмента, его физико-механическими свойствами, термической обработкой (при необходимости) и геометрическими параметрами. Получение требуемой формы, размеров и качества обработанных поверхностей детали обеспечивается конструкцией инструмента, формой его режущих кромок. Это требование относится не только к новым, но к переточенным инструментам, а поэтому следует в конструкции инструмента предусмотреть возможность и технологичность его восстановления (заточки и переточки) или переналадки. Качество поверхности, полученной после обработки, зависит от схемы резания, и последовательности образования требуемой поверхности, геометрических параметров инструмента, шероховатости его режущих кромок, условий и режима обработки.

Производительность процесса обработки зависит от режимов резания (скорости, глубины, подачи), а следовательно,

от материала режущей части инструмента, его конструкции, геометрических параметров лезвий инструмента, способа отвода теплоты от режущих кромок, зоны резания, условий образования и отвода стружки из рабочей зоны инструмента, числа одновременно работающих режущих кромок и других конструктивных параметров и условий обработки.

Экономическая эффективность процесса обработки зависит от стойкости инструмента и удельных приведенных затрат на единицу продукции. Последние определяются в зависимости от стоимости материала и периода стойкости инструмента, трудоемкости его изготовления и восстановления режущих свойств в процессе эксплуатации и др.

К инструментам, предназначенным для работы в условиях ГПС, предъявляются дополнительные требования: надежность работы, возможность и быстрота настройки на требуемый размер, возможность и быстрота замены в процессе эксплуатации, точность и надежность базирования при установке на станке, надежный отвод стружки из зоны резания, обес-

печение высокой точности обработанных поверхностей заготовок; желательна универсальность (возможность применения одних и тех же инструментов для обработки разных по виду и размерам поверхностей заготовок и заготовок из разных материалов).

Эти требования обеспечиваются конструкцией инструмента, технологией его изготовления и правильными условиями эксплуатации.

В машиностроении для обработки заготовок деталей машин необходимо много различных видов инструментов. Их классификация по различным признакам приведена в литературе. Для изучения наи-

более целесообразно рассматривать инструменты по конструктивному признаку (резцы, фрезы, протяжки) с учетом их служебного назначения (для обработки отверстий, резьбообразующие и др.).

При проектировании инструментов, в особенности инструментов для обработки фасонных поверхностей, необходимы сложные расчеты. Для их выполнения применяют систему автоматизированного проектирования режущих инструментов (САПР РИ). При использовании инструментов необходимо обеспечить их правильную эксплуатацию, условия которой должны быть учтены при разработке конструкций.

§ 1.1. 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 ГОСТ 25751—83 и ГОСТ 25762—83.

У всех режущих инструментов имеются рабочая и крепежная части. Рабочая часть выполняет основное служебное назначение — резание, удаление излишнего слоя материала. Крепежная часть служит для установки, базирования и закрепления инструмента в рабочем положении на станке (технологическом оборудовании).

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.

Срезание стружки осуществляется лезвиями I клинообразной формы, ограниченными передними A_r и задними A_a

поверхностями (рис. 1.1). Их пересечение образует режущую кромку K .

По числу лезвий (зубьев) могут быть инструменты одно- и многолезвийные (одно- и многозубые). На зубьях, как однолезвийных, так и многолезвийных инструментов имеются главная K и вспомогательная K' режущие кромки, их сопряжение образует вершину 2 лезвия. Различают зубья черновые, переходные, чистовые и калибрующие в зависимости от сечения срезаемых слоев.

Для осуществления процесса резания лезвие инструмента перемещается отно-

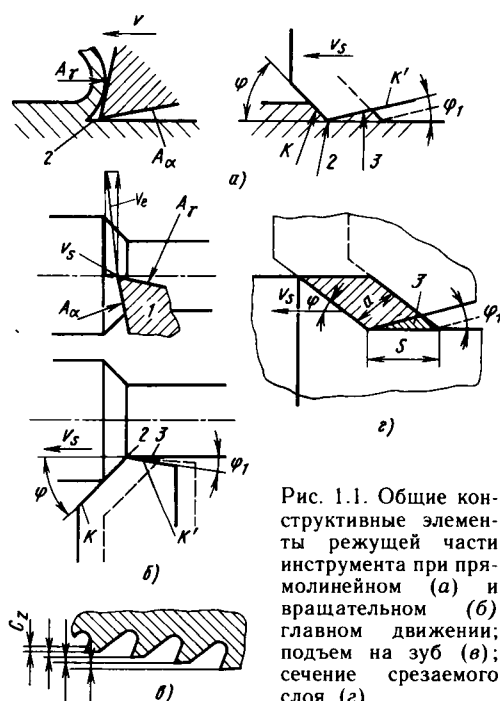


Рис. 1.1. Общие конструктивные элементы режущей части инструмента при прямолинейном (а) и вращательном (б) главном движении; подъем на зуб (в); сечение срезаемого слоя (г)

сительно обрабатываемой поверхности заготовки, совершая главное движение D_r резания со скоростью v , необходимое для удаления поверхностного слоя материала заготовки — срезания стружки. Кроме того, инструмент совершает движение подачи D_s со скоростью v_s , меньшей скорости v . Это движение 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 , движение подачи D_s со скоростью v_s создают суммарное результирующее движение резания D_e со скоростью v_e .

При периодическом движении подачи, например при строгании и долблении, в процессе данного рабочего хода инструмента скорость подачи $v_s = 0$, а результирующее движение резания создается только главным движением ($v_e = v$). Главное движение и движение подачи может совершать заготовка относительно инструмента или инструмент относительно заготовки; они могут быть прямолинейно-поступательными (рис. 1.1, а) или вращательными (рис. 1.1, б).

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 обра-

батываемую 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.). Величину этого смещения (подъема) обозначим C_z .

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. Геомет-

рические параметры в зависимости от целей их применения рассматривают в системах координат инструментальной (и), статической (с) и кинематической (к). Их обозначают индексами, указанными в скобках.

В инструментальной системе координат (инструментальные геометрические параметры, рис. 1.2, а) определяют геометрические элементы инструмента. Эту систему применяют для изготовления и контроля инструмента. Обычно геометрические параметры рассматривают относительно базы установки инструмента при изготовлении, контроле и эксплуатации.

В статической системе координат рассматривают статические геометрические параметры в системе, ориентированной относительно направления скорости главного движения резания. Эти параметры применяют для учета изменения геометрических параметров после установки инструмента на станке.

В кинематической системе координат рассматривают кинематические геометрические параметры (рис. 1.2, б) в условиях процесса эксплуатации инструмента — в процессе резания. Значения этих параметров определяют относительно век-

тора скорости v_e результирующего движения; они определяют кинематику резания.

При определении геометрических параметров необходимы плоскости: основная P_o , проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно скорости главного v или результирующего v_e движения резания в этой точке; резания P_n , касательная к профилю режущей кромки в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости; главная секущая P_τ , перпендикулярная линии пересечения основной плоскости P_o и плоскости резания P_n ; нормальная секущая P_n , перпендикулярная режущей кромке в рассматриваемой точке; секущая плоскость схода стружки P_c , проходящая через направления схода стружки и скорости резания в рассматриваемой точке режущей кромки; рабочая P_s , в которой расположены направления (векторы) скоростей главного движения резания D , и движения подачи D_s .

При криволинейной форме режущей кромки, передней и задней поверхностей учитываются плоскости (линии), касательные к ним в рассматриваемой точке режущей кромки.

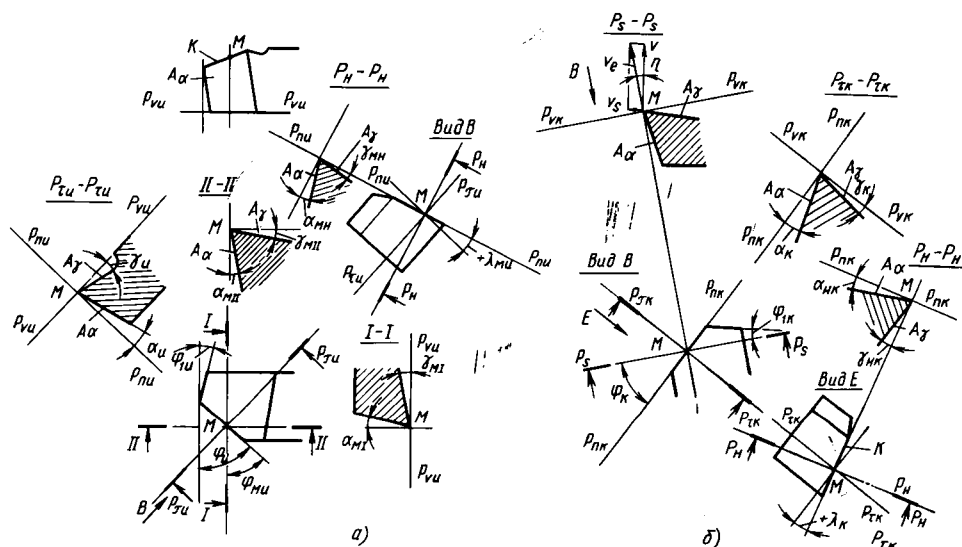


Рис. 1.2. Геометрические параметры:
а — инструментальные; б — кинематические

Положение основной плоскости в инструментальной системе координат зависит от конструкции инструмента. У токарных и строгальных резцов прямоугольного поперечного сечения она совпадает с основной установочной базой резца; у инструментов с главным вращательным движением проходит через ось инструмента.

Основными геометрическими элементами лезвия являются: передний угол γ — угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия A_γ и основной плоскостью P_γ ; главный задний угол α — угол в секущей плоскости между задней поверхностью A_α лезвия и плоскостью резания P_α ; 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; угол наклона режущей кромки λ — угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

В зависимости от координатной системы, в которой они измеряются, различают инструментальные, статические и кинематические углы; углы передний и задний измеряют в главной секущей плоскости или в других плоскостях, обозначаемых соответствующими индексами.

У некоторых инструментов различие в величинах инструментальных, статических и кинематических геометрических параметров незначительно, но у некоторых это различие большое, и его необходимо учитывать при назначении инструментальных геометрических параметров. Их пересчитывают с учетом угла скорости резания η — угла в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания v_Σ и главного движения v резания; угла подачи μ — угла между направлениями скоростей движения подачи v_s и главного движения v резания, а также с учетом параметров установки инструмента — угла установки

и положения рассматриваемой точки режущей кромки относительно оси заготовки или инструмента при вращательном главном движении. Определение кинематических геометрических параметров приведено в [7].

Задний угол α необходим для возможности перемещения лезвия по образованной им поверхности заготовки, для уменьшения контакта задней поверхности лезвия и образованной поверхности заготовки и возникающих между ними сил трения. С увеличением α интенсивность изнашивания лезвия по задней поверхности уменьшается и увеличивается стойкость инструмента. Однако при увеличении α уменьшаются угол заострения β и прочность лезвия. Проф. М. Н. Ларин предложил определять величину заднего угла в зависимости от толщины a срезаемого слоя [7]:

$$\sin \alpha_k = 0,13/a^{0,3},$$

где α_k — кинематический главный задний угол, °.

При проектировании фасонных режущих инструментов задний угол учитывается в коррекционных расчетах профиля и у некоторых инструментов влияет на снижение их точности при переточках. Минимальная величина α принимается равной 2°.

Передний угол γ определяет положение передней поверхности лезвия и влияет на условия образования стружки, силу резания и на прочность лезвия. Угол γ назначают в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и конструкции инструмента. Для упрочнения лезвия затачивают фаску вдоль лезвия по передней поверхности под углом γ_f , равным нулю или даже отрицательной величине.

От угла в плане φ зависит соотношение толщины и ширины срезаемого слоя при постоянных подаче и глубине резания. Он влияет на соотношение составляющих силы резания и на силу, оказывающую воздействие на возможное деформирование заготовки (например, при обработке тонких валов). По технологическим соображениям $\varphi = 0 \dots 90^\circ$.

Вспомогательный угол в плане φ_1 влияет на качество обработанной поверх-

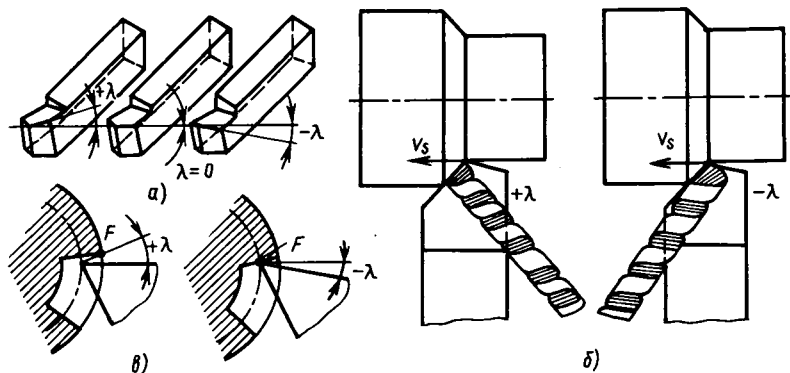


Рис. 1.3. Угол λ наклона режущей кромки:

а — определение угла; *б* — влияние угла λ на направление отвода стружки; *в* — влияние угла на положение точки контакта лезвия с обрабатываемой заготовкой

ности. Для повышения прочности вершины лезвия сопряжение главной и вспомогательной режущих кромок делают через переходную кромку.

Угол наклона режущей кромки λ влияет на направление схода стружки и упрочнение лезвия инструмента (рис. 1.3). При обработке вязких материалов при отрицательном значении угла λ (режущая кромка ниже вершины) стружка отходит вперед в направлении подачи S инструмента; при положительном λ (режущая кромка выше вершины) — назад от режущей кромки в сторону образованной поверхности заготовки и может ее портить. Угол λ также влияет на прочность лезвия, на положение точки F первоначального контакта лезвия с обрабатываемым материалом, что особенно важно при прерывистом резании, например при точении, фрезеровании.

Для изготовления и контроля инструментов необходимо знать геометрические параметры в различных сечениях лезвия, ориентированных относительно баз инструмента, его крепежных поверхностей, например в сечениях $I-I$ и $II-II$ (рис. 1.4, *а*), перпендикулярных и параллельных основным базовым поверхностям. У многих инструментов плоскость $I-I$ совпадает с рабочей плоскостью P_s , угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость условно обозначим φ .

Рассмотрим режущую кромку AB . В общем случае она расположена по отноше-

нию к основной плоскости под углом λ . Ее проекция на основную плоскость образует с линией CD (CD — след сечения задней поверхности основной плоскостью) угол ω . В точке M режущей кромки образуются задние углы между задней поверхностью лезвия и инструментальной плоскостью резания $P_{ин}$; в главной секущей плоскости $P_{гн}$ угол EML — инструментальный главный задний угол α_n , в сечении плоскостью $I-I$ угол EMG , равный α_{I1} , и в сечении плоскостью $II-II$ угол EMF , равный α_{II1} . Расстояние точки M от основной плоскости $P_{осн}$ (т. E — проекция т. M на основную плоскость)

$$EM = EL / \operatorname{tg} \alpha_n = EG / \operatorname{tg} \alpha_{I1} = EF / \operatorname{tg} \alpha_{II1}.$$

Из треугольника TEL

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{EL}{ET} = \operatorname{tg} \alpha_n \operatorname{tg} \lambda.$$

Из треугольников EFL и EGL имеем

$$\frac{EL}{EF} = \frac{\sin(\omega + \varphi_n)}{\cos \omega}; \quad \frac{EL}{FG} = \frac{\cos(\omega + \varphi_n)}{\cos \omega}.$$

Рассматривая соответствующие сечения, получаем

$$\operatorname{ctg} \alpha_{I1} = \frac{EM}{EG} = \frac{\cos(\omega + \varphi_n)}{\cos \omega} \operatorname{ctg} \alpha_n,$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{II1} = \frac{EM}{EF} = \frac{\sin(\omega + \varphi_n)}{\cos \omega} \operatorname{ctg} \alpha_n.$$

После преобразований и подстановки $\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \omega / \pm \operatorname{tg} \lambda$ получаем

$$\operatorname{ctg} \alpha_{I1} = \operatorname{ctg} \alpha_n \cos \varphi_n - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi_n; \quad (1.1)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{II1} = \operatorname{ctg} \alpha_n \sin \varphi_n + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi_n. \quad (1.2)$$

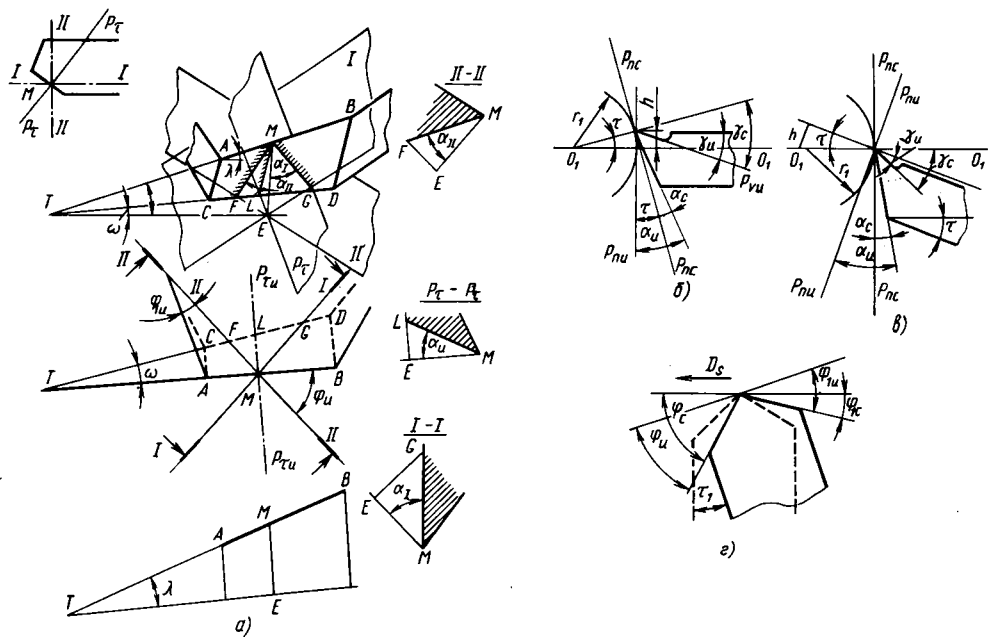


Рис. 1.4. Определение задних углов в различных плоскостях (а) и изменение геометрических параметров при изменении положения инструмента (б—е)

Умножив первое уравнение на $\cos\varphi_{\text{н}}$ и второе на $\sin\varphi_{\text{н}}$, совместно решаем эти уравнения и получаем значение главного заднего угла

$$\operatorname{ctg}\alpha_{\text{н}} = \operatorname{ctg}\alpha_{\text{с}}\cos\varphi_{\text{н}} + \operatorname{ctg}\alpha_{\text{н}}\sin\varphi_{\text{н}}. \quad (1.3)$$

Аналогично получаем в этих же плоскостях значения передних углов:

$$\operatorname{tg}\gamma_{\text{т}} = \operatorname{tg}\gamma_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}} - \operatorname{tg}\lambda\sin\varphi_{\text{н}}; \quad (1.4)$$

$$\operatorname{tg}\gamma_{\text{н}} = \operatorname{tg}\gamma_{\text{с}}\sin\varphi_{\text{н}} + \operatorname{tg}\lambda\cos\varphi_{\text{н}}; \quad (1.5)$$

$$\operatorname{tg}\gamma_{\text{с}} = \operatorname{tg}\gamma_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}} + \operatorname{tg}\gamma_{\text{н}}\sin\varphi_{\text{н}}. \quad (1.6)$$

Из этих формул получаем угол наклона режущей кромки:

$$\operatorname{tg}\lambda = \operatorname{tg}\gamma_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}} - \operatorname{tg}\gamma_{\text{с}}\sin\varphi_{\text{н}}; \\ \operatorname{tg}\lambda = \operatorname{ctg}\alpha_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}} - \operatorname{ctg}\alpha_{\text{с}}\sin\varphi_{\text{н}}. \quad (1.7)$$

Если точка режущей кромки находится в плоскости O_1O_1 (рис. 1.4, б), параллельной основной инструментальной плоскости $P_{\text{ви}}$, проходящей через ось O_1 , относительно которой создается главное вращательное движение, то плоскости основная $P_{\text{с}}$ и резания $P_{\text{н}}$ — инструментальные и статические совмещаются. При смещении рассматриваемой точки режущей кромки относительно плоскости O_1O_1 на h плоскости резания $P_{\text{нс}}$ и основная $P_{\text{с}}$ в статической системе координат

смещаются относительно их прежнего положения на угол τ ;

$$\sin\tau = h/r_{\text{т}}. \quad (1.8)$$

Это отражается на величинах статических геометрических параметров

$$\alpha_{\text{с}} = \alpha_{\text{н}} - \tau; \quad \gamma_{\text{с}} = \gamma_{\text{н}} + \tau. \quad (1.9)$$

Аналогичные изменения происходят и при изменении положения основной инструментальной плоскости, например при изменении базы инструмента на угол τ (рис. 1.4, в).

Поворот (установки) инструмента (режущего элемента) в основной инструментальной и статической плоскостях, показанный на рис. 1.4, г, на угол τ_1 или изменение направления движения подачи влияет на соответствующее изменение углов в плане φ и φ_1 и других, связанных с ними геометрических параметров:

$$\varphi_{\text{с}} = \varphi_{\text{н}} + \tau_1; \quad \varphi_{\text{нс}} = \varphi_{\text{н}} - \tau_1. \quad (1.10)$$

На значения кинематических геометрических параметров влияет положение вектора скорости $v_{\text{с}}$ результирующего движения резания, т. е. угол η и величина и направление вектора скорости подачи $v_{\text{с}}$. Определение кинематических геомет-

рических параметров приведено в [7].

Форма и элементы слоя материала, срезаемого за один цикл обработки, зависят от подачи S , формы и положения режущей кромки. Положение режущей кромки определяется углом в плане φ . Толщина срезаемого слоя (см. рис. 1.4, z)

$$a = S \sin \varphi.$$

Формообразование поверхности и схема резания. Окончательное формообразование поверхности заготовки может быть осуществлено методами следа, копирования и огибания. Они определяются формой главного движения D_r , движения подачи D_s и формой режущей кромки. Поверхность, обработанная методом следа, образуется вершиной режущей кромки в соответствии с формой траектории движения D_s подачи (рис. 1.5, a).

Режущая кромка перемещается по длине обрабатываемой поверхности с определенными интервалами. Перемещение вершины зависит от подачи S на цикл движения (на оборот заготовки при токарной обработке, долю оборота многозубого инструмента с вращательным главным движением). Из-за этого реально получаемая при обработке поверхность отличается от идеальной; на ней образуются периодические выступы 3 (см. рис. 1.1, a , z), так называемое остаточное сечение среза (макронеровность, волнистость). Форма поверхности определяется подачей и формой вспомогательной и главной режущей кромки. Для уменьшения выступов желательно, чтобы $\varphi_1 = 1 \dots 2^\circ$, иногда $\varphi_1 = 0$ (делают так называемую зачистную кромку).

При формообразовании методом копирования поверхность (профиль) заготовки образуется одновременно всеми точками режущей кромки, т. е. копируется (рис. 1.5, b).

При формообразовании методом огибания требуемая поверхность заготовки 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.) (рис. 1.5, $в$).

Размеры и форма обработанной поверхности обеспечиваются в результирующем движении резания D_e положением режущих кромок инструмента относительно заготовки. Их положение может быть определено при применении инструментов группы I (инструментов универсального назначения), размеры обработанной поверхности определяются настройкой станка; при применении инструментов группы II (инструментов полууниверсального назначения) часть размеров образованной поверхности определяется настройкой станка, а часть — конструкцией инструмента, например при обработке резьбы гребенками диаметральные размеры зависят от положения гребенки относительно оси заготовки, а профиль и шаг резьбы определяются конструкцией инструмента. При применении инструментов III группы (инструменты специального назначения) размеры образованных поверхностей заготовки определяются исполнительными размерами конструктивных параметров рабочей части инструментов. Инструменты II и III групп относятся к профильным фасонным инструментам.

Последовательность удаления припуска инструментами специального и полууниверсального назначения определяется схемами резания. Применяют схемы профиль-

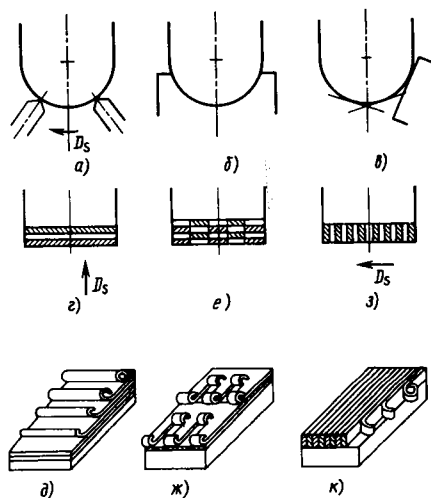


Рис. 1.5. Схемы формообразования (а—в) и резания (г—к)

ного или одинарного резания, группового или переменного резания (иногда называемую прогрессивной) и генераторную.

При профильной схеме резания движение подачи D_s перпендикулярно обрабатываемой поверхности, последующие работающие режущие кромки по форме подобны (рис. 1.5, z , d), припуск снимается широкими и тонкими слоями. Окончательное образование обработанной поверхности осуществляется последним режущим и калибрующими зубьями.

При схеме группового или переменного резания припуск по ширине делится на отдельные участки и снимается сравнительно узкими и толстыми слоями (рис. 1.5, e , $ж$), 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.

При генераторной схеме резания подача осуществляется параллельно образуемой поверхности детали (рис. 1.5, $з$, $к$). Окончательно обработанная поверхность образуется последовательно всеми зубьями инструмента. Качество поверхности хуже, чем при первой схеме резания.

Приведенные схемы резания используют во многих видах режущих инструментов с конструктивной и станочной подачей, например профильную, групповую и генераторную — в протяжках, групповую — в ступенчатых торцевых фрезах, метчиках и плашках.

Подача определяет толщину срезаемого слоя. У некоторых инструментов групп II и III (универсального и полууниверсального назначения) толщина a срезаемого слоя зависит от подъема на зуб C_z . Толщина срезаемого слоя a должна быть не менее 0,02 мм и не более 0,15—0,20 мм. Скругление r лезвия при обычных методах заточки и доводки получается до 0,005 мм. При затуплении инструмента r увеличивается, и при $a < 0,02$ мм вместо резания происходит уплотнение слоя (рис. 1.6, a).

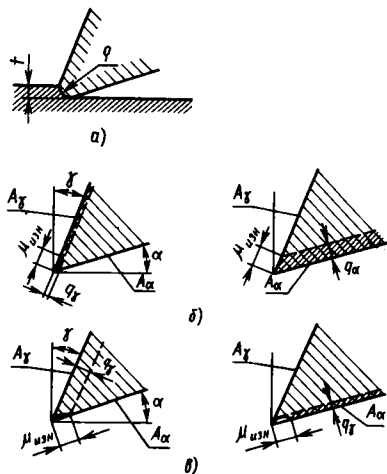


Рис. 1.6. Изнашивание инструмента и поверхности его заточки

Если толщина срезаемого слоя меньше 0,02 мм, то следует обеспечить остроту режущего лезвия высоким качеством доводки его рабочих поверхностей и наблюдением за его состоянием и изнашиванием в процессе эксплуатации.

Максимальная подача, определяющая толщину срезаемого слоя, устанавливается в зависимости от условий резания: срезания стружки (зависит от материала заготовки), радиуса естественного завивания стружки в валик, условий формирования стружки в закрытой стружечной канавке.

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 — 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.). Форма зуба и впадины (стружечной канавки) (рис. 1.7) 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.

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.

Хорошие условия резания и удаления стружки обеспечиваются геометрическими элементами лезвия: передним углом γ , формой передней поверхности и ее положением по отношению к направлению скорости резания, углом λ наклона режущей кромки. Изменяя значение угла λ , можно управлять направлением схода

стружки при обработке вязких материалов (см. рис. 1.3, б).

Значение переднего угла γ влияет на силу резания и стойкость инструмента. Кроме того, угол γ и форма передней поверхности влияют на радиус естественного завивания стружки. При резании вязких материалов срезаемая стружка, отходя от передней поверхности, закручивается в винтовую спираль или образуются отдельные элементы (завитки), это и называют естественным завиванием стружки. Размеры завитка, его кривизна зависят от обрабатываемого материала, толщины срезаемого слоя a , переднего угла γ , формы передней поверхности, скорости образования стружки (скорости резания).

Отвод стружки от режущей кромки имеет большое значение для работы режущих инструментов. Форма стружки должна быть удобна для транспортирования и образовываться в виде отдельных завитков или спиралей малой длины. Применяют разные способы стружколомания, которые условно можно разделить на искусственные и естественные. Естественное стружколомание возможно при соответствующем назначении геометрических параметров инструмента (углов γ , ϕ , λ), режимов обработки (v , S , t) при определенном материале заготовки. Искусственное стружкодробление может быть обеспечено применением специальных устройств (стружколомов) в конструкции инструмента, препятствующих свободному движению стружки, методов кинематического стружкодробления, т. е. прерывания процесса резания, или изменением соотношения глубины резания t и подачи S .

У многозубых инструментов стружка образуется и формируется в ограниченном пространстве стружечной канавки. При резании вязких материалов форма канавки оказывает большое влияние на процесс формирования сливной стружки.

Стружечные канавки инструментов бывают открытые, обеспечивающие свободный вывод образовавшейся стружки, полузакрытые, обеспечивающие отвод стружки в некоторые моменты резания или в определенном направлении с продвижением стружки вдоль канавки, и за-

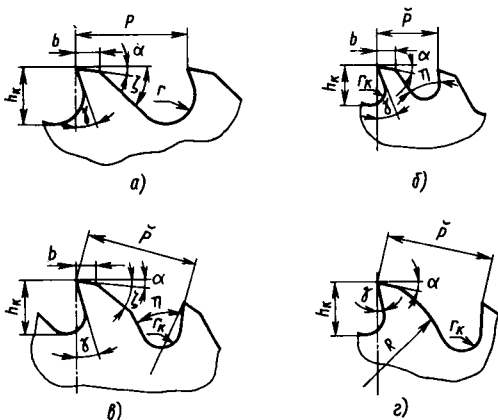


Рис. 1.7. Типовые формы зубьев и впадин многозубых инструментов с главным движением:

а — прямолинейным; б—г — вращательным

крытые, в которых стружка собирается, формируется и остается во время процесса обработки данной поверхности и удаляется из нее свободно (самостоятельно) или принудительно при выходе зуба из контакта с поверхностью заготовки.

Границы стружечной канавки могут препятствовать свободному образованию стружки, ее естественному завиванию (рис. 1.8, а). При большом радиусе кривизны завитка стружки происходит принудительное, несвободное, ее формирование (рис. 1.8, б). Срезанная стружка может занять в канавке только часть ее объема, так называемый активный объем, который можно определить в зависимости от площади вписанной окружности F_k диаметром, равным высоте h_k канавки.

Стружка завивается в спираль неплотно, поэтому площадь F_k канавки должна быть больше площади продольного сечения слоя материала, удаляемого данной режущей кромкой. Это учитывается при проектировании инструмента с закрытой формой канавки путем введения коэффициента k заполнения стружкой канавки (впадины): $k = F_k / F_{с.с.}$, где $F_{с.с.}$ — площадь срезаемого (удаляемого) слоя в течение всего пути работы зуба; F_k — активная площадь канавки. Коэффициентом k учитывается также утолщение стружки (увеличение толщины стружки по сравнению с толщиной срезаемого слоя). Увеличение площади, занимаемой срезанной стружкой, по сравнению с площадью удаляемого слоя материала каждым лез-

вием зависит от обрабатываемого материала, толщины срезаемого слоя, переднего угла, формы передней поверхности лезвия, формы и размеров стружечной канавки и др. Обычно размеры стружечной канавки рассчитывают в сечении, перпендикулярном режущей кромке.

Недооценка влияния объема и формы стружечной канавки на работу инструмента может привести к снижению работоспособности инструмента и даже к поломкам инструмента, выкрашиванию зубьев (лезвий) и режущих кромок у инструментов с закрытой формой канавки.

При работе некоторых видов инструментов (протяжек, метчиков и др.) срезаемый слой остается неизменным по толщине в процессе обработки всей поверхности. Но, например, при фрезеровании толщина срезаемого слоя изменяется в процессе данного реза, что влияет на формирование завитка стружки. Так как с увеличением толщины срезаемого слоя радиус естественного завивания стружки увеличивается, для рационального заполнения стружечной канавки выгоднее начинать резание с меньших толщин срезаемого слоя. Однако это не всегда можно согласовать с другими требованиями обработки.

При обработке хрупких материалов образуется стружка надлома, более плотно заполняющая канавку, и ее размеры следует определять из других соображений. При проектировании инструментов размеры стружечной канавки обычно устанавливаются исходя из условий возможности обработки вязких материалов, т. е. образования сливной стружки.

Размеры зуба и стружечной канавки взаимно зависят и определяют шаг p зубьев инструмента, а последний — длину режущей части; для инструментов с концентричным расположением режущих кромок — диаметр рабочей части и число зубьев инструмента. Шаг зубьев влияет на число одновременно режущих зубьев, силу резания и ее изменение (равномерность).

В инструменте (в его зубьях и корпусе) от действия сил резания возникают растягивающие, сжимающие и другие напряжения, влияющие на прочность, жест-

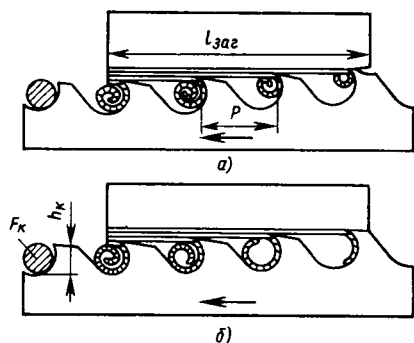


Рис. 1.8. Образование стружки (а) и ее размещение в стружечной канавке (б)

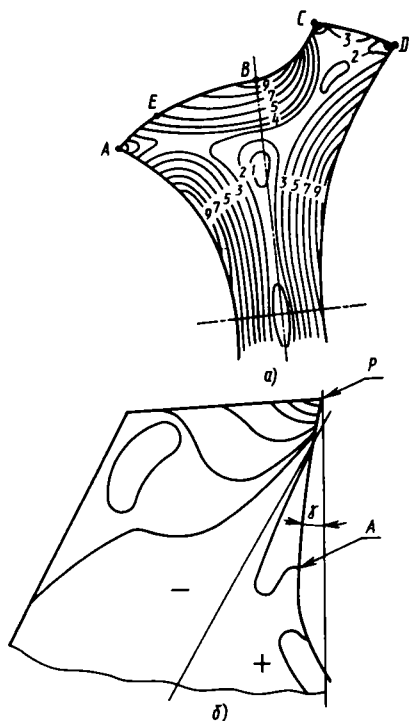


Рис. 1.9. Изолинии напряжений, возникающих при работе в теле сверла (а) и зуба протяжки (б)

кость и деформацию инструмента и его зубьев. Возникающие в инструментах напряжения могут быть определены аналитическим расчетом с использованием, например, метода конечных элементов или экспериментально на оптико-активных моделях при соответствующем их нагружении. При анализе и построении картины напряжений необходимо учитывать все возможные составляющие нагрузки, например у сверл силы резания, крутящий и изгибающий моменты, осевые силы, а также силы, возникающие от трения стружки по передней поверхности, задней поверхности зуба по образованной поверхности заготовки, силы, возникающие в результате тепловой деформации, и др. Многие из них не поддаются точному определению, учитываются приближенно или совсем не учитываются. На рис. 1.9, а показаны линии одинаковых напряжений, возникающих в корпусе (теле) сверла [48] (для большей нагляд-

ности схема вытянута по вертикальной оси). Наименьшие напряжения обозначены цифрой 1, наибольшие — цифрой 9. Наибольшие напряжения возникают на середине передней поверхности стружечной канавки и в середине спинки зуба. Напряжения, возникающие в зубе протяжки, приведены на рис. 1.9, б. Наибольшие напряжения возникают в точке А.

При проектировании инструментов, подвергающихся большим силовым нагрузкам, необходимо выявить картину распределения напряжений в теле инструмента, влияния конструктивных элементов и геометрических параметров и, учитывая их, определить рациональную форму зуба, корпуса, предел допустимого стачивания зуба, т. е. оптимизировать конструктивные элементы и форму инструмента и тем обеспечить снижение расхода материала (материалоемкость).

При затуплении инструмента в процессе эксплуатации для восстановления режущих свойств зубья перетачивают по передним или задним поверхностям в зависимости от характера изнашивания зубьев и типа инструмента. Переточку нужно производить по поверхности наибольшего изнашивания. При износе $\mu_{\text{изн}}$ по передней поверхности $A_{\text{в}}$ при переточке лезвия по этой же поверхности необходимо снять слой глубиной $q_{\text{в}}$ меньшей, чем слой глубиной $q_{\text{а}}$ при переточке по задней поверхности (см. рис. 1.6, б). Аналогично при износе $\mu_{\text{изн}}$ по задней поверхности $A_{\text{а}}$ значительно меньший слой $q_{\text{а}}$ необходимо снять по задней поверхности, чем по передней поверхности (см. рис. 1.6, в). Однако не у всех видов инструментов это возможно.

При перетачивании со снятием основного слоя по задней поверхности уменьшается высота канавки и изменяется соотношение между $h_{\text{к}}$ и $r_{\text{к}}$, уменьшается пространство для размещения стружки, но жесткость зуба увеличивается. При перетачивании со снятием припуска по передней поверхности зуба уменьшается толщина зуба и, следовательно, его жесткость и увеличивается пространство для размещения стружки, но при этом зуб становится более податливым, что сказывается на

ухудшении качества и изменении размеров обработанной поверхности заготовки.

Крепежная часть режущего инструмента 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.

У резцов крепежную часть делают в виде стержня квадратного или прямоугольного сечения (рис. 1.10, а) с размерами $H=4\ldots 80$ мм и отношением высоты к ширине $H:B=1, 0, 1, 2, 1, 6, 2, 0$ или круглого сечения диаметром 4—80 мм (ГОСТ 26475—85).

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 (рис. 1.10, б) или коническое (рис. 1.10, в) 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).

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 $b=2\ldots 25$ мм с предельным отклонением C11 и глубиной t паза с отклонением H12. В основании канавки делают закругление $R=0,3\ldots 2,2$ мм во избежание возможной концент-

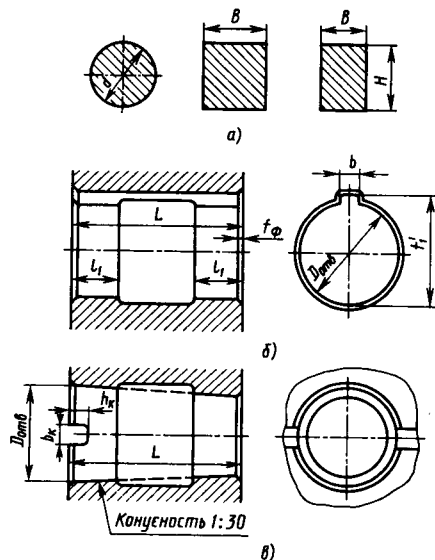


Рис. 1.10. Крепежная часть стержневых (а) и насадных (б и в) инструментов

рации напряжений при термообработке 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.

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 $l_1 = (1/3 \ldots 1/4)L$, где L — длина отверстия.

Хвостовые инструменты имеют крепежную часть в виде цилиндрического или конического хвостовика. Диаметры цилиндрических хвостовиков (рис. 1.11, а) 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 (рис. 1.11, б, в), их делают с лапкой или без лапки, метрические хвостовики имеют конусность 7:24. 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 (рис. 1.11, в) для затяжки болтом, проходящим через отверстие в шпиндель станка. Коническая поверхность с углом 60° нужна для установки инструмента в центрах при обработке и контроле.

Применяют также укороченные конуса инструментов (ГОСТ 9953—82) с конусностью, соответствующей конусам Морзе (ГОСТ 25557—82). Эти конуса обозначают В7—В45, что соответствует конусам Морзе № 0—5.

У хвостовых инструментов базы для обработки и контроля выполняются в виде центровых отверстий с углом конусности 60° (рис. 1.11, з, д), ГОСТ 14034—74, форма Р. От качества центровых отверстий зависит точность обработки и контроля инструмента. Поэтому для предохранения рабочей поверхности центрового отверстия от повреждений делают на торцах инструмента выточки или добавочное коническое углубление с углом 120° (защитный центр). У инструментов малых диаметров (меньше 6 мм) вместо внутреннего центрового отверстия делают обратный центр (рис. 1.11, е).

У инструментов, предназначенных для автоматизированного производства, для возможности их замены и установки на станке делают специальные фланцы. Другие специальные конструкции крепежной части, применяемые у режущих инстру-

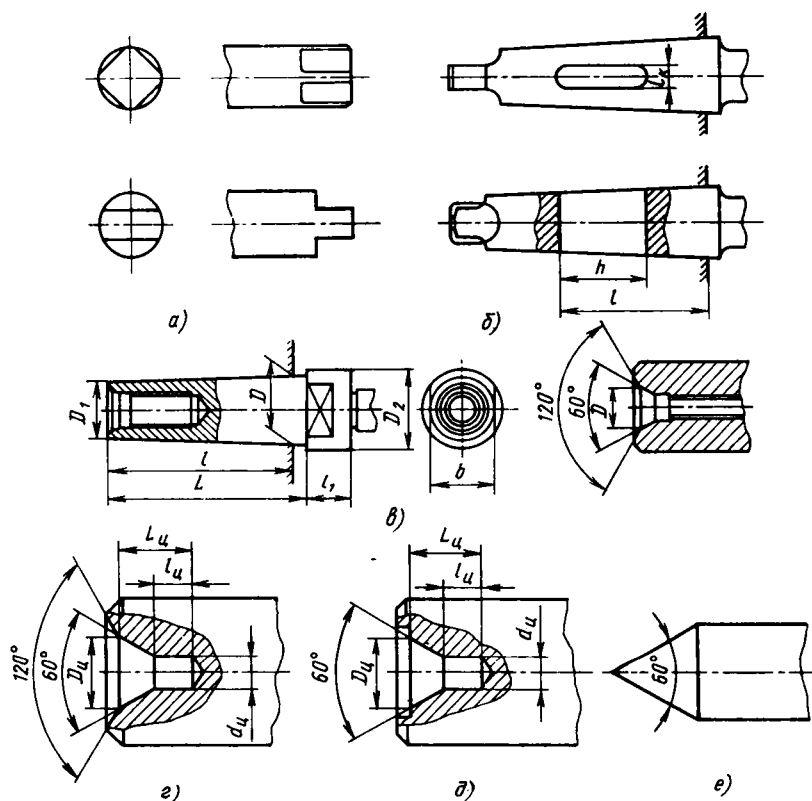


Рис. 1.11. Хвостовики инструментов

ментов, рассмотрены в соответствующих главах.

Рабочая и крепежная части инструмента выполняют различные функции. Рабочая часть должна удовлетворять требованиям резания, иметь высокие твердость, прочность, достаточную вязкость, износостойкость, сохранение высоких механических свойств при нагреве в процессе работы, теплопроводность (для отвода теплоты от режущей кромки) и др. Эти свойства имеют стали быстрорежущие и легированные, твердые сплавы и другие материалы.

Материал рабочей части инструмента назначают исходя из конкретных условий работы. Для повышения работоспособности инструмента применяют технологические методы улучшения его режущих свойств, термохимическую обработку, нанесение износостойких покрытий и другие способы. Материал режущей части влияет на конструктивное исполнение инструмента. Материал крепежной части должен обеспечивать прочность, жесткость и износостойкость.

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

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.

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. Желательны простота конструкции и малое число деталей в узле крепления, унификация режущих элементов и крепежных деталей и узлов для разных размеров и типов инструментов.

Большое распространение получают сборные инструменты с многогранными твердосплавными пластинами. Конструктивное выполнение крепления рассмотрено применительно к конкретным видам инструментов.

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 (рис. 1.12, а, б) или призматические ножи также с рифлениями по опорной поверхности, закрепляемые в пазах корпусов инструментов с помощью клиньев (рис. 1.12, в), винтов (рис. 1.12, г) или другими способами (рис. 1.12, д).

Исполнительные размеры регулируют или перестановкой по рифлениям (грубое регулирование) или перемещением вдоль наклонно расположенных пазов (точное регулирование). Рифления делают треугольного профиля с шагом 1,5; 1,0 и 0,75 мм. Ножи и соответственно пазы для них в корпусе инструмента изготавливают с уклоном вдоль рифлений или с двойным уклоном вдоль и поперек рифлений с шагом $p_{\text{риф}} = 1,5$ мм и только с продольным уклоном при шаге 0,75 и 1 мм. Угол продольного уклона в плоскости, параллельной направлению рифлений и перпендикулярной к плоскости гладкой стороны ножа и паза, при шаге рифлений 1,5 и 1,0 мм делают равным 5° , при шаге 0,75 мм угол равен 3° . Угол поперечного уклона, измеряемый в

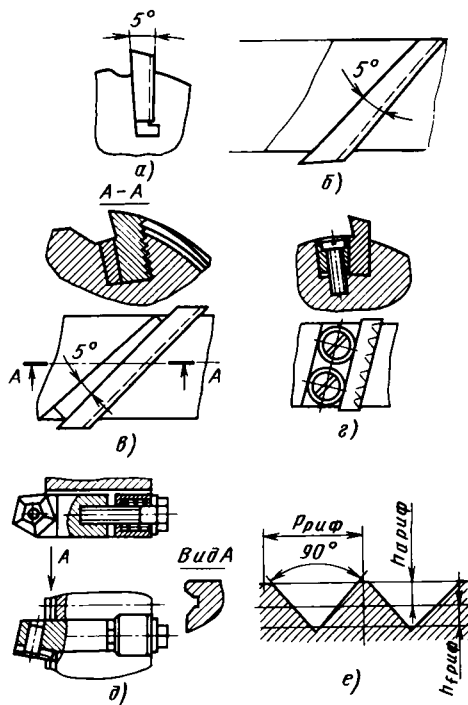


Рис. 1.12. Виды крепления режущих элементов сборных инструментов

плоскости, перпендикулярной к проекции направления рифлений на плоскость гладкой стороны ножа, должен быть равен $2^\circ 30'$. Для регулирования исполнительных размеров применяют также подкладки, клинья и торцовые регулировочные винты.

Проектирование режущих инструментов производится по системе, обобщенная схема которой приведена на рис. 1.13. Основными исходными данными являются: технические требования к изделию, оборудование и требуемая производительность. На схеме показаны связи различных элементов расчета, которые необходимо выполнить при проектировании инструмента. Эти расчеты сводятся к следующему.

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 осно-

ве имеющегося опыта, должны быть для данной конкретной конструкции проверены контрольным прочерчиванием. Для возможности автоматизации расчета и применения ЭВМ эти соображения следует формализовать.

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

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 (рис. 1.14).

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.

5. Расчет размеров и точности конструктивных параметров инструмента специального и полууниверсального назначения (II и III группы), размеры 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 II и III групп как в большую, так и в меньшую сторону: в большую — из-за разбивки, в меньшую — из-за усадки. Усадка — уменьшение размеров поверхностей детали после обработки (рис. 1.15, б). Причиной

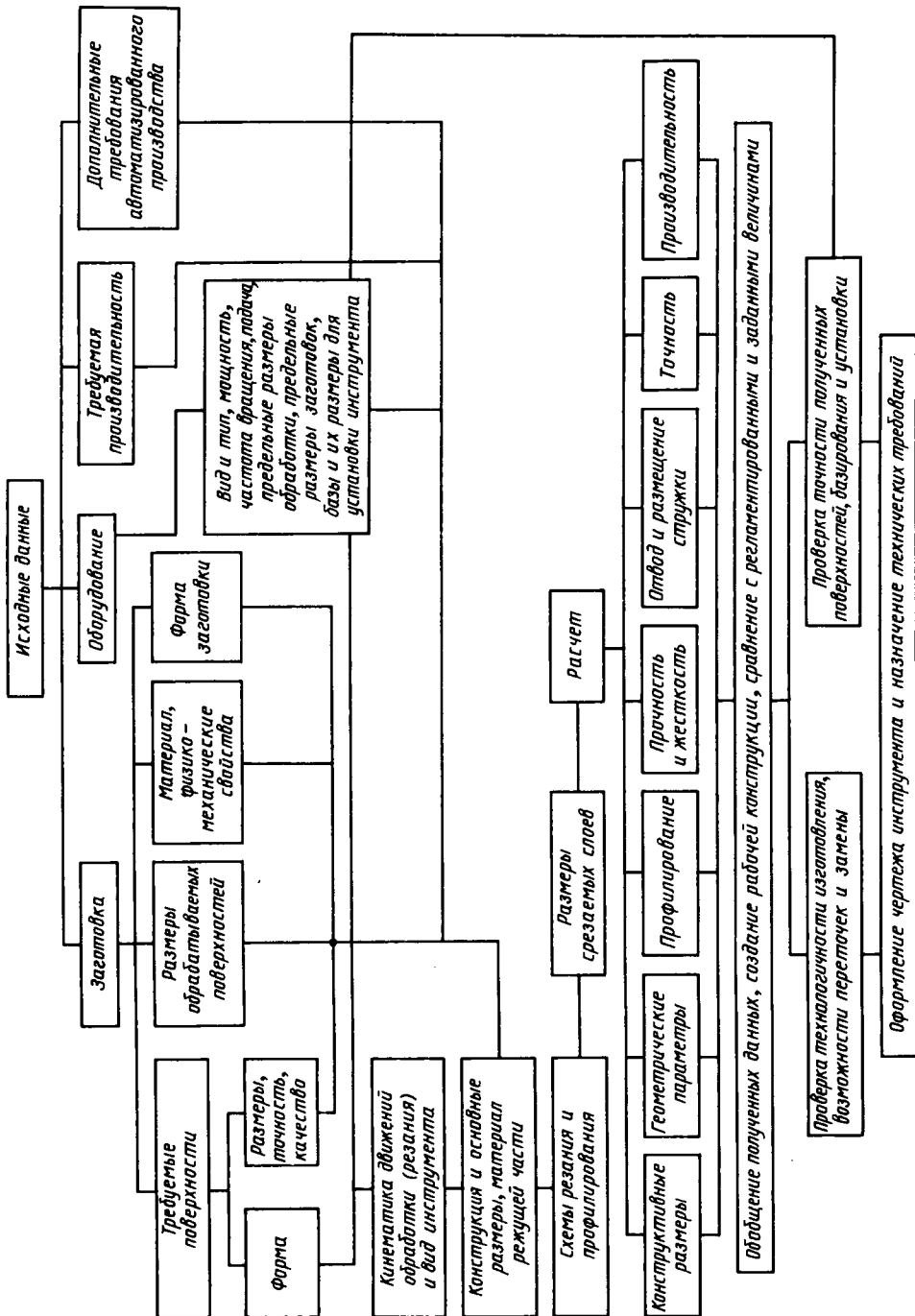


Рис. 1.13. Обобщенная схема проектирования режущих инструментов

разбивки при обработке отверстий может быть биение лезвий у многозубых инструментов, образования нароста на передней поверхности лезвий, деформирование режущих элементов (зубьев), увеличение размеров инструментов от образующейся теплоты и др. Усадка может происходить из-за деформирования заготовки под влиянием силы резания, из-за теплового расширения заготовки в процессе обработки и последующего уменьшения размеров при охлаждении.

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 $\Delta A_{изн}$ 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 $\Delta A_{разб}$ на разбивку, допуск $\Delta A_{изг}$ на изготовление инструмента и допуск $\Delta A_{изн}$ на износ:

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

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.

При проектировании следует создать инструмент оптимальной конструкции, установив важнейшие для данной обработки

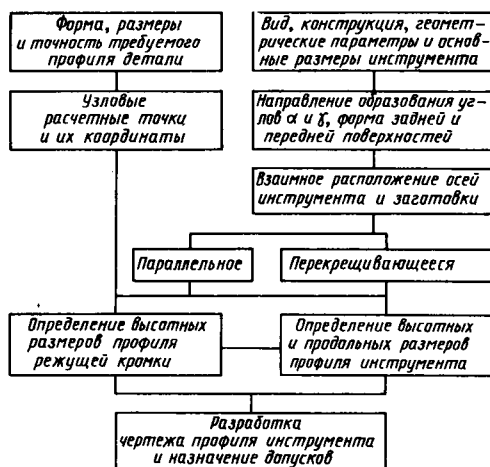


Рис. 1.14. Схема коррекционного расчета профиля режущего инструмента

критерии оптимизации. Многие конструктивные элементы инструментов взаимосвязаны и могут оказать взаимное влияние: например, при одном шаге зубьев многолезвийных (многозубых) инструментов увеличение толщины зуба увеличивает их прочность, но уменьшает размер стружечной канавки и ухудшает условия размещения стружки. Поэтому необходимо проанализировать возможные варианты конструктивных элементов и конструкции инструмента в целом.

На чертеже инструмента должны быть показаны необходимые проекции, обеспечивающие полное представление об инструменте (обычно две или три). Дополнительно у многолезвийных (многозубых)

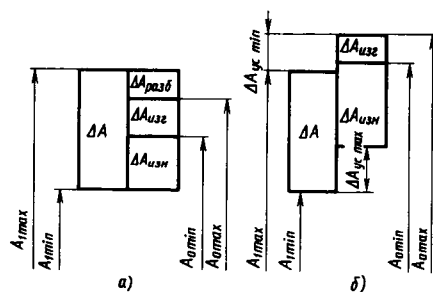


Рис. 1.15. Схема допусков на исполнительные размеры режущих инструментов при разбивке (а) и усадке (б)

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, концентричность и пр. Указывают место маркировки, текст (основной размер рабочих поверхностей, материал режущей части и другие данные, необходимые для правильной эксплуатации инструмента).

§ 1.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Эффективность режущего инструмента, определяемая его работоспособностью при максимально возможной стойкости, зависит главным образом от материала рабочей части. Применение того или иного инструментального материала в конкретных производственных условиях обуславливается служебным назначением станка и режущего инструмента, требуемой эффективностью процесса обработки, необходимым качеством и точностью обработанных поверхностей, материалом и видом заготовок.

В связи с большим разнообразием материала обрабатываемых заготовок, их физико-механических свойств и различными требованиями к точности и качеству обработанных поверхностей деталей в инструментальном производстве приходится применять большое число марок различных по своим свойствам инструментальных материалов.

В настоящее время для рабочих частей режущих инструментов применяют инструментальные стали (быстрорежущие, легированные и углеродистые), твердые сплавы, минералокерамику, сверхтвердые материалы, к которым относятся природные и синтетические алмазы и материалы на основе нитрида бора (композиты), и абразивные материалы.

В общем случае к инструментальным материалам предъявляют требования, которые можно объединить в три группы:

эксплуатационные требования: высокая красностойкость (температуростойкость), износостойкость, достаточная прочность, в том числе усталостная, хорошая теплопроводность, малое сходство с обрабатываемым материалом;

технологические требования: хорошая обрабатываемость (особенно шлифуемость), способность к пластическому деформированию, необходимые свойства термической обработки (хорошая закалкаемость, прокаливаемость);

инструментальный материал должен быть экономичным (обеспечивать минимальные затраты на изготовление инструмента, влияющие на себестоимость выпускаемой продукции).

Быстрорежущие стали. В зависимости от режущих свойств и химического состава быстрорежущие стали делят на две группы: нормальной и повышенной красностойкости. К первой группе отнесены стали P18, P9, P6M5, P12 и др.

Быстрорежущие стали нормальной красностойкости при температуре 615—620 °C должны обеспечить твердость не менее 58 HRC₃.

После однократной закалки и отпуска твердость сталей нормальной температуростойкости должна быть не менее 62 HRC₃ (у стали P6M5 не менее 63 HRC₃). В закаленном состоянии эти стали имеют относительно высокую прочность, предел прочности на изгиб достигает 3200 МПа. Однако следует иметь в виду, что прочность зависит от равномерного распределения карбидов (карбидной неоднородности). Например, у стали P18 при большой карбидной неоднородности (балл 8) предел прочности на изгиб снижается до 2000 МПа.

Быстрорежущие стали — сложнелегированные. В общем случае в их состав входят углерод, вольфрам, ванадий, хром, кобальт, молибден, марганец, никель, сера, фосфор, кремний. Основными легирующими элементами являются вольфрам, хром и ванадий, а у стали Р6М5, кроме того, молибден.

По свойствам быстрорежущие стали нормальной красностойкости существенно различаются. Сталь Р18 имеет удовлетворительные прочность и шлифуемость, широкий интервал оптимальных температур закалывания, но пониженную пластичность. Рекомендуется применять ее для изготовления всех видов режущих инструментов для обработки деталей из обычных конструкционных материалов. Однако в связи с большим содержанием вольфрама (17—18,5%) и относительно высокой стоимостью сталь Р18 в настоящее время применяют весьма ограниченно. Сталь Р12 (содержание вольфрама 12—13%) по своим свойствам близка стали Р18, но имеет несколько повышенную пластичность, удовлетворительно шлифуется; может быть использована в тех же случаях, что и Р18. Сталь Р12 дешевле стали Р18. Сталь Р9 (содержание вольфрама 8,5—10%) имеет более узкий интервал температуры закалывания, повышенную пластичность, плохо шлифуется. Эта сталь может быть рекомендована для инструментов, не требующих снятия большого припуска при шлифовании, используют для обработки деталей из обычных конструкционных материалов.

Основной сталью группы нормальной красностойкости является сталь Р6М5. В ее составе: углерод 0,8—0,88%, вольфрам 5,5—6,5%, хром 3,8—4,4%, ванадий 1,7—2,1%, молибден 5—5,5%. Эта сталь по режущим свойствам близка к стали Р18, но имеет повышенную склонность к обезуглероживанию при нагреве. Она значительно дешевле стали Р18. Ее широко применяют для изготовления режущих инструментов, используемых при обработке деталей из конструкционных материалов.

Ко второй группе отнесены быстрорежущие стали повышенной красностойкости, которые в своем составе имеют либо

кобальт, либо повышенное содержание ванадия, либо и то и другое. В эту группу включены стали Р12Ф3, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р6М5К5, Р9М4К8 и др. У этих сталей при температуре 630—640 °С твердость должна быть не менее 58 HRC₃. Твердость этих сталей после однократной закалки и отпуска должна быть не менее 63 HRC₃, кроме сталей Р6М5К5 и Р9М4К8, у которых 64 HRC₃, у сталей повышенной красностойкости твердость может быть и 65—67 HRC₃.

Увеличенное содержание у этих сталей ванадия улучшает режущие свойства, но снижает шлифуемость. Кобальт, так же как и ванадий, повышает красностойкость и твердость, но приводит к повышению хрупкости и обезуглероживанию. Стали повышенной красностойкости рекомендуется применять для изготовления инструмента для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного нагрева лезвия, а также сталей и сплавов повышенных твердости и вязкости. Кобальтовые стали нельзя применять для изготовления мелкогабаритных режущих инструментов.

Быстрорежущие стали обеих групп имеют существенный недостаток — неравномерное распределение карбидов. Для снижения карбидной неоднородности, а следовательно, и повышения режущих свойств в настоящее время быстрорежущие стали получают методом порошковой металлургии, в этом случае они имеют дополнительное обозначение МП (материал порошковый). Например, Р6М5К5-МП.

Особое место занимают безуглеродистые сплавы (дисперсионно твердеющие) с интерметаллидным упрочнением. Это инструментальные сплавы с высоким содержанием вольфрама, молибдена и, особенно, кобальта. Твердость их достигает 68—70 HRC₃, а красностойкость до 700 °С. Указанные сплавы по твердости и красностойкости занимают промежуточное место между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами, но превосходят последние по вязкости и прочности. Эти сплавы пластичны, хорошо шлифуются, но имеют пониженную обра-

бываемость резанием. Рекомендуются для изготовления инструментов, обрабатывающих заготовки из жаропрочных, высокопрочных и других труднообрабатываемых материалов (особенно титановых).

Легированные стали. Для изготовления режущих инструментов используют ограниченное число марок легированных инструментальных сталей (ГОСТ 5950—73) с относительно малым содержанием легирующих элементов. Это стали 9ХС, ХВГ, Х, ХВСГ, основными легирующими элементами которых являются марганец, кремний, хром, вольфрам и ванадий. Красностойкость инструментальных легированных сталей до 250—260 °С, твердость после термической обработки 61—63 HRC.

Чаще всего в инструментальном производстве применяют сталь 9ХС. Она обладает хорошей прокаливаемостью (что позволяет производить нагрев при закалке в масляной ванне и не требуются резкие охлаждающие среды), равномерным распределением карбидов по всему поперечному сечению прутка, менее чувствительна к перегреву. Однако кремний, входящий в состав этой стали, упрочняет феррит, что ухудшает ее обрабатываемость в ненагретом состоянии. Кремний также повышает чувствительность к обезуглероживанию. Сталь 9ХС следует рекомендовать в первую очередь для изготовления инструментов, лезвия которых находятся в середине корпуса (например, круглые плашки).

Сталь ХВГ отличается хорошей прокаливаемостью, но имеет склонность к образованию карбидной сетки. Повышенное содержание марганца в этой стали уменьшает объемные деформации при закалке. Сталь ХВГ следует рекомендовать для изготовления режущих инструментов, габаритные размеры которых оказывают заметное влияние на процесс деформирования (например, протяжки).

Сложнолегированная сталь ХВСГ, у которой недостатки, свойственные двум рассмотренным маркам, проявляются в значительно меньшей степени, предназначена для замены сталей 9ХС и ХВГ, но в настоящее время эта сталь в инструментальном производстве почти не применяют.

Углеродистые инструментальные стали.

Для изготовления режущих инструментов углеродистые стали находят ограниченное применение главным образом из-за низкой красностойкости (200—250 °С). Применяют в основном стали У10А, У12А, У13А.

Достоинством углеродистых инструментальных сталей (ГОСТ 1435—74) являются невысокая стоимость, хорошая шлифуемость. Небольшая прокаливаемость позволяет получить инструменты с вязкой сердцевиной, что очень важно при обработке с ударными нагрузками.

Однако эти стали обладают низкой закаливаемостью (при термообработке нужны резкие охлаждающие среды, что приводит к повышению внутренних напряжений). Они также очень чувствительны к перегреву. Повышение температуры закалки на 10—15 °С, снижает прочность на 20%. Углеродистые инструментальные стали можно рекомендовать для изготовления режущих инструментов, работающих с малыми скоростями резания (метчики, плашки, развертки и другие инструменты).

Твердые сплавы. Применение твердых сплавов при обработке резанием позволило повысить в среднем скорости резания в 2—4 раза. Поэтому там, где это целесообразно, следует у инструментов рабочую часть выполнять твердосплавной или с твердосплавным режущим элементом.

В инструментальном производстве применяют вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые твердые сплавы (ГОСТ 3882—74). Твердые сплавы получают путем прессования и спекания при высокой температуре (1500—2000 °С) карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта (связки). Вольфрамовые сплавы — однокарбидные (кроме сплавов ВК6-ОМ, ВК10-ОМ), титановольфрамовые — двухкарбидные, а титанотанталовольфрамовые — трехкарбидные.

Твердые сплавы по сравнению с инструментальными сталями имеют пониженную теплопроводность или более низкий коэффициент линейного расширения. Они очень чувствительны к перепаду температур, переменным нагрузкам и удару.

Вольфрамовые твердые сплавы имеют твердость до 91 HRA, предел прочности при изгибе до 1700 МПа, красностойкость 800—850 °С. В этой группе следующие марки: ВКЗ, ВКЗ-М, ВК4-В, ВК6, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-М, ВК10-ОМ и др. Цифры после буквы К показывают содержание кобальта в %, буквы О — особо мелкозернистая структура, М — мелкозернистая структура карбидов, В — крупнозернистая структура (исходного порошка карбидов для спекания). Мелкозернистая структура сплава повышает его износостойкость, но уменьшает прочность, крупнозернистая — наоборот. Таким образом, например, в сплаве ВК6-ОМ содержится 6% кобальта, 2% карбидов тантала и 92% карбидов вольфрама с особо мелкозернистой структурой.

Вольфрамовые твердые сплавы обладают повышенной адгезией при обработке деталей из стали, что приводит к быстрому образованию лунки на передней поверхности инструмента (из-за контакта этой поверхности со сходящей стружкой) и потере его режущей способности. Вследствие этого вольфрамовые твердые сплавы в основном применяют для обработки деталей из чугунов. Следует отметить, что твердые сплавы ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-ОМ могут быть с успехом использованы при обработке деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, сплавов на основе титана, цветных металлов и некоторых неметаллических материалов.

К титановольфрамовым твердым сплавам относятся следующие марки: Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12, состоящие из карбидов титана и вольфрама и кобальта (связки). Например, в сплаве Т5К12 содержится 12% кобальта, 5% карбидов титана и 83% карбидов вольфрама. Титановольфрамовые твердые сплавы имеют красностойкость 850—900 °С, предел прочности при изгибе 1000—1700 МПа, предел прочности при сжатии 4200 МПа, твердость 87—92 HRA. По сравнению с вольфрамовыми сплавами эти сплавы имеют меньший коэффициент теплопроводности. Их применяют для обработки заготовок из углеродистых и легированных сталей.

Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы — трехкарбидные. Кроме карбидов титана и вольфрама они содержат еще и карбид тантала. Марки: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8-Б, ТТ20К9. У этих сплавов красностойкость 750 °С, предел прочности при изгибе 1350—1700 МПа, твердость 87—90 HRA. Например, сплав ТТ7К12 содержит 4% карбидов титана, 3% карбидов тантала, 12% кобальта и 81% карбидов вольфрама.

Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы рекомендуются для черновой и полустойковой обработки заготовок из сталей (в том числе труднообрабатываемых), а сплав ТТ7К12 — для тяжелого чернового точения стальных поковок и отливок, а также строгания и фрезерования.

При выборе оптимальной марки твердого сплава для конкретной обработки следует иметь в виду, что с увеличением содержания кобальта (связки) увеличивается предел прочности при изгибе, но снижаются режущие свойства сплава. Твердые сплавы с меньшим содержанием кобальта следует рекомендовать для чистовой и полустойковой обработки.

С целью экономии вольфрама в инструментальном производстве идет поиск новых инструментальных материалов, не имеющих в своем составе вольфрама. За последние несколько лет для обработки заготовок из конструкционных материалов стали применять так называемые безвольфрамовые твердые сплавы. Эти сплавы делятся на группы на основе:

- сложного карбида титана и ниобия (ТМ1 и ТМ3);

- карбида титана (ТН-20);

- карбонитрида титана (КНТ-16). В качестве связки используют чаще всего никель и молибден.

Безвольфрамовые твердые сплавы несколько уступают традиционным твердым сплавам по прочности, теплопроводности, ударной вязкости, но у них выше окислостойкость, пониженное адгезионное взаимодействие с обрабатываемым металлом. Для повышения стойкости инструмента на рабочие поверхности титаносплавных пластин наносят износостойкие покрытия (карбиды или нитриды титана). Слой

из этих карбидов толщиной 5—7 мкм увеличивает срок службы инструмента в 3—4 раза.

Износостойкие покрытия на режущие элементы инструмента наносят, в основном, двумя методами: КИБ — конденсация вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки; РЭП — реактивное электролучевое плазменное осаждение. Применяют также термодиффузионный метод. Следует отметить, что износостойкие покрытия наносят и на режущие инструменты из быстрорежущей стали.

В соответствии с рекомендациями Международной Организации стандартов ИСО твердые сплавы разделены на три группы (табл. 1.1).

Твердые сплавы выпускают в виде пластин различной формы, которые либо припаивают к державке, либо крепят к ней механическим путем (сменные многогранные пластины). Режущую способность инструментов с припаянными пластинами после изнашивания восстанавливают перетачиванием, а многогранные пластины поворачивают, в результате чего в работу включается новое (незатупленное) лезвие

или незатупленная его часть (у круглых) пластин.

Сменные многогранные твердосплавные пластины (ГОСТ 19042—80, ГОСТ 24257—80) подразделяют на следующие типы.

1. По назначению: режущие, опорные, стружколомающие. Опорные пластины применяют для увеличения срока службы корпуса режущих инструментов. Стружколомы предназначены для резцов, оснащенных плоскими пластинами трех- и четырехгранной формы.

2. По форме: трехгранные, квадратные, ромбические с наименьшими углами при вершине 35°, 55°, 75°, 80°, 86°, параллелограммные с углами при вершине 55°, 82°, 84°, 85° (рис. 1.16, а) круглые, пятигранные, шестигранные и шестигранные с углом при вершине 80° (рис. 1.16, в).

3. По конструкции: без отверстия (рис. 1.16, б), с отверстием (рис. 1.16, е).

4. По форме передней поверхности: плоские со стружколомающими канавками с одной или двух сторон (см. на рис. 1.16, ж).

5. По значению задних углов: 0°, 11°, 20° (рис. 1.16, з).

1.1. Соответствие марок твердых сплавов, указанных в ГОСТе, международной классификации

Наименование изменения свойств		Марка по ГОСТ 3882—74	Группа применения		Маркировочный цвет	Материал заготовки
			основная	подгруппа		
Увеличение износостойкости ↑	Повышение прочности при изгибе ↓	T30K4 T15K6 T14K8 TT20K9 T5K10 TT10K8-Б, T5K12, TT7K12	Р	P01 P10 P20 P25 P30 P40	Синий	Сталь, ковкий чугун со сливной стружкой
		BK6-OM, BK6-M TT8K6 TT10K8-Б BK10-OM, BK10-M, BK8 TT7K12		M05 M10 M20 M30 M40		
		BK3, BK3-M BK6-OM BK6-M, TT8K6 BK6, BK4 BK8, BK4		K01 K05 K10 K20 K30		

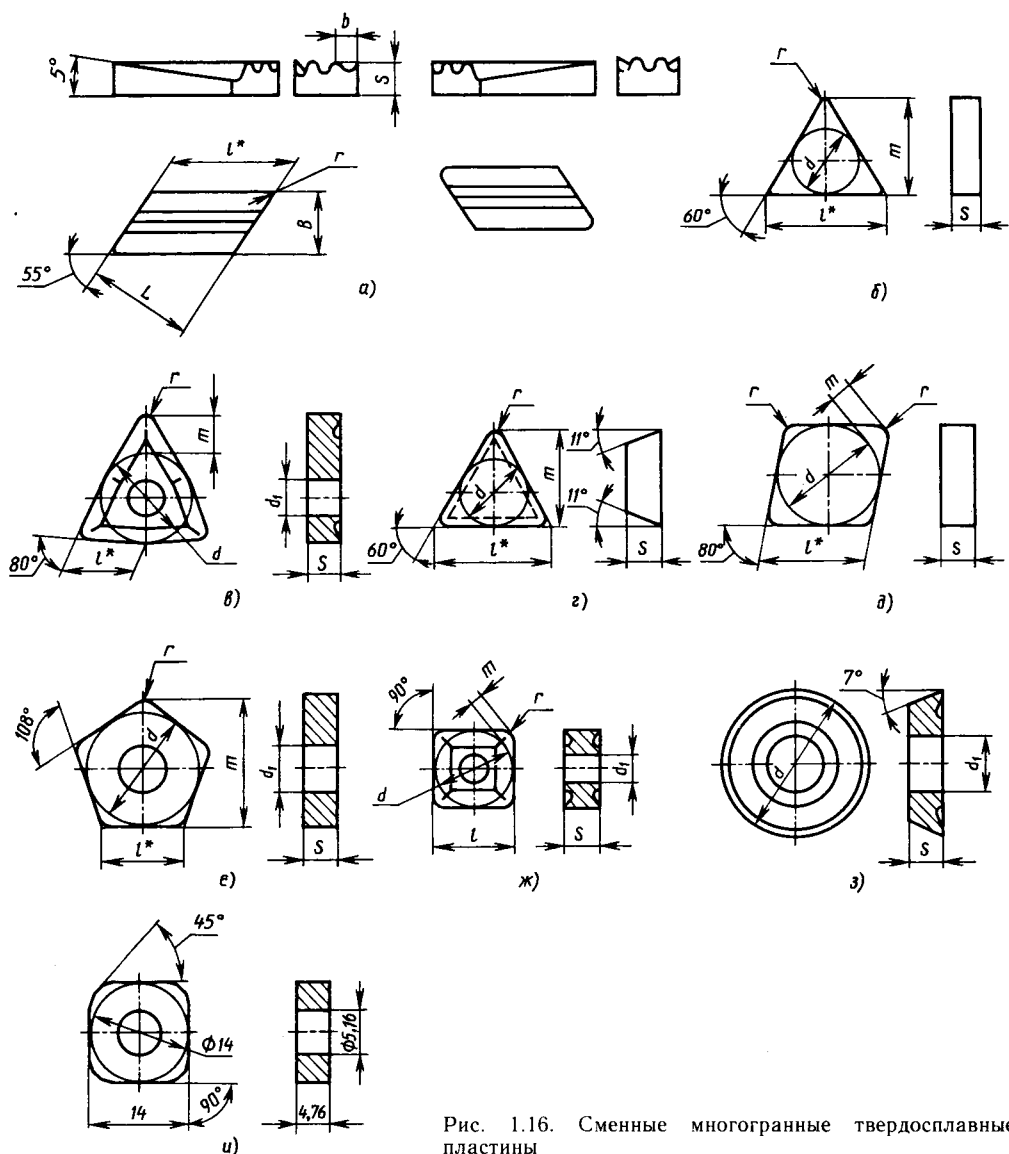


Рис. 1.16. Сменные многогранные твердосплавные пластины

6. По оформлению вершины лезвия: с радиусом (рис. 1.16, ж), с фасками (рис. 1.16, и).

7. По размерам: диаметру вписанной окружности d (рис. 1.16, д) 6,35; 9,525; 12,7; 15,875; 19,050 мм и толщине S , равной 3,18; 4,76 и 6,35 мм.

8. По предельным отклонениям: допуски A ; F ; C ; H ; E ; G ; J ; L ; K ; M ; U . Для указанных допусков точность изготовления

диаметра вписанной окружности составляет от $\pm 0,013$ (F) до $\pm 0,250$ мм (U), толщины пластины соответственно от $\pm 0,025$ до $\pm 0,13$ мм и расстояния m вписанной окружности до вершины лезвия от $\pm 0,005$ до $\pm 0,38$ мм. Пластины более точных допусков применяют для многозубых инструментов и инструментов, требующих бесподналадочной замены пластин на станке (для инструментов на станках с

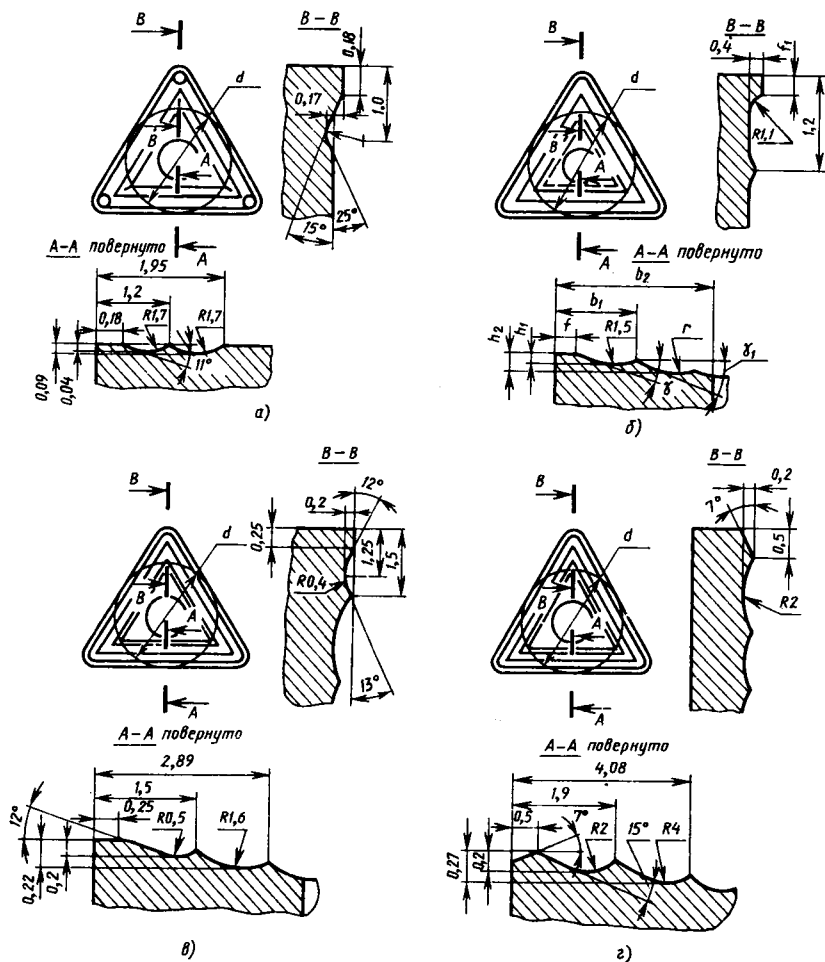


Рис. 1.17. Формы передних поверхностей многогранных пластин

ЧПУ, автоматических линиях и ГПС).

Размеры пластин из безвольфрамовых сплавов соответствуют размерам пластин из сплавов, содержащих карбиды вольфрама, но их номенклатура ограничена. Выбор формы передней поверхности сменных многогранных твердосплавных пластин зависит от технологических условий и условий образования и ломания стружки.

Формы передней поверхности трехгранной пластины приведены на рис. 1.17. Форму, показанную на рис. 1.17, а, применяют при чистовом и получистовом точении. При глубине резания до 1 мм стружка формируется в угловой канавке

(см. сеч. В—В). С увеличением глубины резания и подачи 0,2—0,25 мм/об в работе участвует первая канавка, а при повышении подачи — вторая канавка, причем стружка минует первую канавку и формируется более широкой второй канавкой. Форма на рис. 1.17, б предназначена для полустачевой обработки с подачей до 0,3 мм/об. Размеры канавок различны у пластин с разными диаметрами вписанной окружности. Форма, приведенная на рис. 1.17, в, отличается от предыдущей размерами канавок (большой шириной и глубиной) и рекомендуется для резания с подачей до 0,4 мм/об

при глубине резания до 8 мм. Форма на рис. 1.17, *г* предназначена для особо тяжелых условий обработки с подачей более 0,4 мм/об при глубине резания до 15 мм.

Материалы керамические инструментальные (ГОСТ 26630—85). Применение их как инструментального материала в определенной степени решает проблему экономии дефицитного вольфрама. Керамические материалы изготовляют двух видов: оксидные (ЦМ 332) и оксидно-карбидные (ВОК-60, В-3). В состав последних марок входят карбиды титана, вольфрама, молибдена. Основное преимущество этого инструментального материала — высокая температуростойкость (1000—1200 °С), недостаток — низкая прочность. Так, ЦМ 332 имеет предел прочности при изгибе до 350 МПа, а ВОК-60 — до 750 МПа.

Керамические материалы могут быть рекомендованы для чистовой и получистовой обработки заготовок из закаленных сталей и чугунов. Их выпускают в виде пластин трехгранной, квадратной, ромбической и круглой формы, которые закрепляют на рабочей части инструмента механическим способом.

Сверхтвердые инструментальные материалы. К этой группе относятся алмазы и материалы на основе нитрида бора. Алмаз обладает самой высокой твердостью из известных в природе металлов и минералов. Он превосходит по твердости твердый сплав в 5 раз и более, а быстрорежущую сталь в 14 раз. Модуль упругости алмаза в 2 раза больше модуля упругости твердого сплава, а коэффициент линейного расширения ниже в 4 раза. Коэффициент теплопроводности алмаза в 2 раза и более выше, чем у твердого сплава. Однако алмаз имеет повышенную хрупкость и низкий предел прочности при изгибе (в 3,5—5 раз меньше, чем у твердого сплава).

Алмазы имеют высокую химическую и коррозионную стойкость. Красностойкость природных алмазов 700—750 °С, синтетических — 600—700 °С. В диапазоне этих температур алмаз химически активен в контакте с черными металлами, что ухудшает его режущие свойства и не

позволяет эффективно использовать алмазы при обработке деталей из этих металлов. Алмазы выпускают не только в виде поликристаллов, но и в виде порошков различной зернистости (для кругов, шкурков, паст).

Для оснащения инструментов применяют технические природные и синтетические алмазы. Синтетические поликристаллические алмазы АСБ, АСПК, АРСЗ имеют физико-механические свойства, близкие к природным. Их размеры колеблются по диаметру от 3,5 до 10 мм, по массе от 0,08 до 0,9 г (0,4 до 4,5 карат).

Алмазы применяют для обработки твердых неметаллических материалов (стекла, твердой керамики, камней, в том числе драгоценных и полудрагоценных), а также цветных металлов и их сплавов.

При обработке черных металлов (при определенных условиях) значительный эффект обнаруживается при использовании в качестве инструментального материала сверхтвердых материалов на основе нитрида бора. Эти материалы по твердости близки к алмазу, а по красностойкости превышают его в 1,5—1,7 раза (1300—1400°). По сравнению с твердыми сплавами они, как и алмаз, обладают повышенными хрупкостью, чувствительностью к вибрациям и уменьшенным пределом прочности на изгиб. Сверхтвердые материалы на основе нитрида бора могут быть получены путем синтеза из гексагонального нитрида бора (композит 01, композит 02), синтеза вюрцитоподобной модификации нитрида бора (композит 09, композит 10), спекания из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавками (композит 05, композит 05И).

Наибольшую твердость имеет композит 01, а наибольшую прочность композит 10 ($\sigma_{\text{и}}$ до 700 МПа).

В табл. 1.2 приведены марки сверхтвердых материалов на основе нитрида бора и их назначение.

Сверхтвердые материалы на основе нитрида бора выпускают цилиндрической формы, а также в виде пластин трехгранной, квадратной, ромбической форм (табл. 1.3). Пластины могут быть цельными и двухслойными, которые состоят из подложки (безвольфрамовый твердый

1.2. Сверхтвердые синтетические материалы на основе нитрида бора

Материал	Размеры поликристаллов цилиндрической формы, мм	Назначение
Композит 01 (эльбор-Р) Композит 02 Исмит-1	$\varnothing 4-4,5$ $H=4...5$	Чистовая обработка заготовок из закаленных сталей с 60—70 HRC, и отбеленных чугунов, без ударов
Композит 05, 05И	$\varnothing 7-10$ $H=4...7$	Получистовая и чистовая обработка незакаленных и закаленных заготовок из сталей с 31—57 HRC, и чугуна
Композит 10 (гексанит-Р) Композит 09 (ПТНБ) Исмит-2	$\varnothing 5-6$ $H=4,5...5,5$	Получистовая и чистовая обработка с ударами заготовок из незакаленных и закаленных сталей с 41—62 HRC, и чугунов

1.3. Форма пластин из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора

Форма	Эскиз	Основные размеры
Треугольная		$d=3,97...7,93$ мм $l=6,88...13,75$ мм $S=3,18...4,76$ мм $\alpha=0^\circ; 7^\circ; 11^\circ$
Квадратная		$d=3,18...9,52$ мм $S=3,18...4,76$ мм $\alpha=0^\circ; 7^\circ; 11^\circ$
Ромбическая		С углом при вершине 80° : $d=3,97...9,52$ мм $l=4,03...9,66$ мм $S=3,18...4,76$ мм $\beta=0^\circ; 7^\circ; 11^\circ$
Круглая		$d=3,6...8,0$ мм $S=3,18...3,97$ мм $\alpha=0^\circ; 7^\circ; 11^\circ$

* Ц — цельные; Д — двухслойные.

сплав) и композита. Двухслойные пластины обладают большей прочностью и позволяют более рационально использовать композит.

Пластины из сверхтвердых материалов широко применяют для оснащения резцов и торцовых фрез, а также для оснащения расточных пластин, разверток, зенкеров, инструментов для правки кругов и некоторых других инструментов.

В связи с невысоким пределом прочности на изгиб сверхтвердых материалов, инструменты, оснащенные ими, работают при небольших сечениях среза при относительно высоких скоростях резания. Режущие элементы из сверхтвердых материалов крепят на корпусах инструментов или на зубьях пайкой или механическим способом.

Абразивные материалы. В инструментальном производстве используют в основном электрокорунды и карбиды кремния. Марки: электрокорунд нормальный 18А, 15А, 14А, 13А; электрокорунд белый 25А, 24А, 23А; электрокорунд хромистый 34А, 33А; электрокорунд циркониевый 38А-5, 38А-4, 38А-3; монокорунд 45А, 44А, 43А; сложеннолегированный хромотитанистый электрокорунд 92А и 91А (на основе белого электрокорунда), 94А и 93А (на

основе нормального электрокорунда); карбид кремния черный 55С, 54С, 53С; карбид кремния зеленый 64С и 63С.

Электрокорундовые абразивные материалы и монокорунд состоят в основном из оксида алюминия (Al_2O_3) и сопутствующих примесей, их обозначают буквой А, карбидокремниевые абразивные материалы состоят из карбида кремния (SiC) и сопутствующих примесей, их обозначают буквой С. Разновидности этих материалов условно обозначают первой цифрой, входящей в обозначение, вторая цифра указывает на степень загрязнения посторонними примесями (большая цифра указывает меньшую степень загрязнения).

Абразивные материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов, шкурок, паст, их также используют в свободном состоянии. Приведенный анализ большого числа групп и марок инструментальных материалов показал их существенные различия по свойствам, областям применения, технологическим возможностям.

Для более полного восприятия ниже приведена обобщенная табл. 1.4 основных свойств инструментальных материалов.

1.4. Основные свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Предел прочности, МПа		Красностойкость, °С	Твердость		Микротвердость, ГПа
	при изгибе	при сжатии		HRC, в закаленном состоянии	HRA	
Легированная сталь	2000—2500	—	До 260	61—63	—	—
Быстрорежущая сталь:	До 3200	3800	610—615	63—65	—	7
нормальной красностойкости	До 3700	3800	До 650	65—67	—	7,5
повышенной красностойкости	—	—	—	—	—	—
Твердые сплавы:	1100—1165	3300	800—850	—	87—91	16—17
вольфрамовые	950—1650	4150	850—900	—	87—92	16—17
титановольфрамовые	400—637	—	1200	—	91—93	15
Керамические	—	—	700—800	—	—	100
Алмазы	—	—	1200—1300	—	—	78—95
Композиты	—	—	—	—	—	—

§ 1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Роль систем автоматизированного проектирования режущего инструмента (САПР РИ) в общей структуре автоматизированных систем управления. Развитие гибких производственных систем в машиностроении повлияло на количественный и качественный рост автоматизированных систем управления. В машиностроении, так же как и в других отраслях, автоматизированные системы управления (АСУ) подразделяют (рис. 1.18) на автоматизированные системы управления производством (АСУП), системы автоматизированного проектирования (САПР), системы технологической подготовки производства (АСТПП), системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), системы управления научными исследованиями (АСНИ), системы управления качеством продукции (АСУ КП). На предприятиях машиностроительного профиля САПР РИ является составной частью АСТПП [6], которая объединяет в единый непрерывный процесс следующие взаимосвязанные этапы автоматизированного проектирования: проектирования технологических процессов механической обработки деталей основного производства (САПР ТПД); проектирование станочных приспособлений (САПР СП); проектирование режущих инструментов (САПР РИ); проектирование вспомогательных инструментов (САПР ВИ); проектирование контрольно-измерительных инструментов (САПР КИ); проектирование технологических процессов изготовления режущих, вспомогательных, контрольно-измерительных инструментов и приспособлений (САПР ТП РИ, САПР ВИ и др.).

Основой АСТПП является взаимодействие людей, машинных программ и технических средств (ГОСТ 14.402—83). Конечный результат АСТПП — комплект технологической документации: формирование маршрутных и операционных технологических карт; вычерчивание операционных эскизов; изготовление чертежей приспособлений; разработка технологических процессов изготовления технологической оснастки; разработка программ для станков с ЧПУ.

В общей схеме АСТПП две составляющие относятся непосредственно к проектированию режущего инструмента — САПР РИ, САПР ТП РИ. В данном случае указанные подсистемы обеспечивают функционирование технологического процесса механической обработки детали основного производства.

Структура САПР режущего инструмента будет представлена всеми составляющими ее подсистемами, если деталью основного производства является режущий инструмент, тогда понятие САПР РИ носит более обобщенный характер, чем проектирование отдельного вида режущего инструмента. Приведенная схема в первом приближении наиболее полно отражает компоновку подсистем САПР РИ, а для каждого конкретного случая выбор составляющих структуры САПР РИ зависит от объекта производства, постановки задачи проектирования и условий функционирования системы [9].

В состав САПР РИ входят подсистемы, которые по своему назначению подразделяют на проектирующие и обслуживающие (рис. 1.19). Каждая подсистема обладает свойствами систем и создается как самостоятельная система.

Проектирующие подсистемы САПР РИ предназначены для выполнения проектных процедур. Каждая проектирующая подсистема имеет свои особенности и может

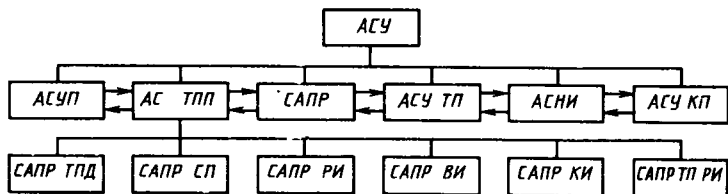


Рис. 1.18. Схема взаимосвязей автоматизированных систем управления и место САПР РИ в общей их структуре

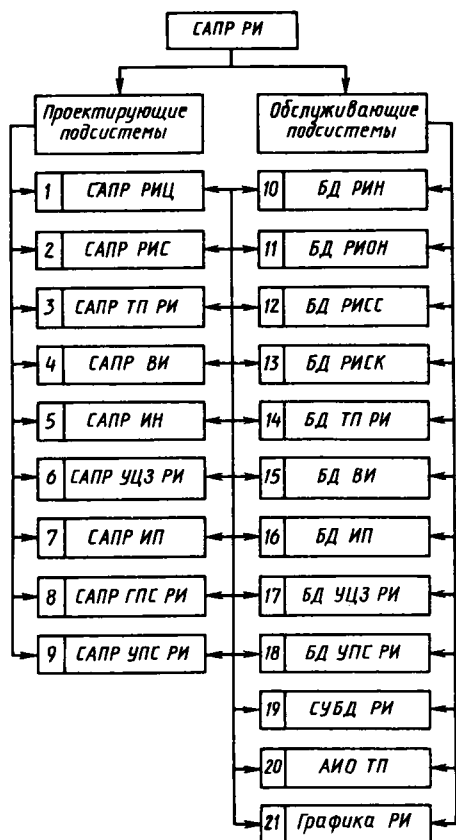


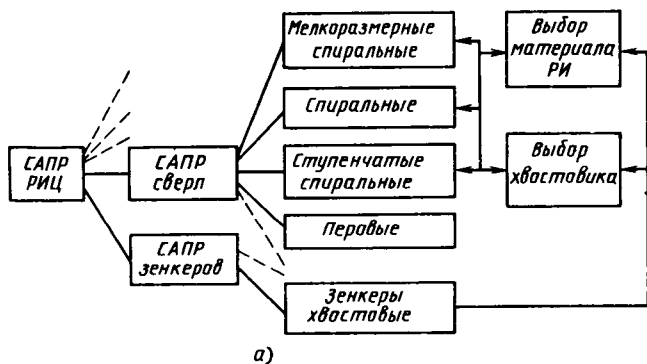
Рис. 1.19. Структура систем автоматизированного проектирования режущего инструмента

работать с различным набором обслуживающих подсистем. Проектирующие подсистемы цельно режущего инструмен-

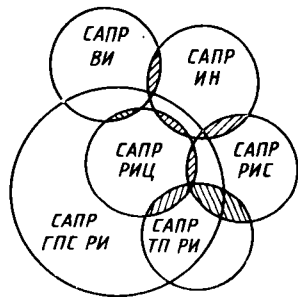
та (САПР РИЦ) функционируют как подсистемы проектирования цельных резцов, протяжек, сверл, разверток, зенкеров, резьбового, зуборезного инструмента и др. Целесообразно при разработке конкретных проектирующих подсистем объединить в группы сходные виды лезвийных режущих инструментов (рис. 1.20, а), что позволит одни и те же проектно-расчетные модули использовать для различных видов режущего инструмента.

В качестве примера на схеме выделена подсистема САПР РИЦ цельных сверл и зенкеров. Набор типов цельных сверл не позволяет установить единую методику проектирования. Мелкогабаритные спиральные сверла (диаметр 0,08—1 мм) имеют свои особенности проектирования, ступенчатые и перовые сверла не укладываются в рамки методики проектирования обычных спиральных сверл, но программные модули по выбору инструментального материала, назначению размеров хвостовиков и др. используют одновременно для двух или трех режущих инструментов.

Проектирующие подсистемы сборного режущего инструмента (САПР РИС) функционируют как подсистемы проектирования сборочных единиц и проектирования деталей сборного режущего инструмента. Если задачей САПР РИС является проектирование одной детали (инструмента), то САПР РИЦ предназначена для проектирования нескольких деталей (от двух до десяти и более) с последую-



а)



б)

Рис. 1.20. Схема использования программных модулей для различных проектирующих подсистем и их интеграция

шей компоновкой их в виде сборного инструмента. Следовательно, САПР РИС по содержанию принципиально отличается от САПР РИЦ.

Подсистемы по проектированию технологических процессов изготовления режущих инструментов (САПР ТП РИ) предназначены для проектирования технологических процессов механической обработки режущего инструмента как изделия основного производства с соответствующей обработкой технологической документации в виде маршрутных и операционных карт и эскизов.

Подсистему по проектированию вспомогательного инструмента (САПР ВИ) необходимо включать в общую структуру САПР РИ, так как выбор его размеров непосредственно связан с посадочными местами станков и размерами режущего инструмента.

Подсистемы проектирования инструментальных насадок (САПР ИН) предназначены для формирования группы стандартного и специального инструмента для реализации технологического процесса на станках с ЧПУ, многоцелевых станках в условиях автоматизированного производства.

Подсистемы проектирования приспособлений для изготовления режущего инструмента (САПР ИП) имеют определенную специфику по отношению к системам проектирования обычных станочных приспособлений, что позволяет выделить САПР ИП из системы САПР СП.

Подсистемы проектирования участка, цеха, завода (САПР УЦЗ) по производству режущего инструмента предназначены для разработки вариантов размещения оборудования, планировки помещений и др. на участках по производству определенного вида режущего инструмента.

Подсистемы проектирования гибких производственных систем (САПР ГПС РИ) выполняют функции проектирования гибких производственных систем по производству определенных видов режущих инструментов в режиме трудосберегающей технологии.

Подсистема по автоматизированному составлению программ станков (САПР УПС РИ) предназначена для реализации

расчетных данных в виде программ к станкам с ЧПУ для изготовления инструмента, минуя чертеж инструмента.

Взаимодействие проектирующих подсистем, степень перекрытия друг друга по составляющим модулям зависит от конечной цели САПР РИ, вида режущего инструмента, серийности производства и других факторов (рис. 1.20, б). Каждая подсистема может существовать самостоятельно, но по мере развития и расширения возможностей подсистем, их количественного накопления степень интеграции возрастает.

Обслуживающие подсистемы САПР РИ необходимы для поддержания функционирования проектирующих систем на более высоком техническом уровне. В группе обслуживающих подсистем выделяют три категории: базы данных (БД), графические программы, автоматизированные системы инструментального обеспечения технологических процессов (АИО ТП).

База данных может быть определена как совокупность, предназначенных для машинной обработки данных, которая служит для удовлетворения потребностей многих пользователей в рамках одной или нескольких организаций. Формирование баз данных по режущему инструменту целесообразно реализовать в виде следующих подсистем (см. рис. 1.19): базы данных по нормализованному (БД РИН) режущему инструменту; выполненным по отраслевым нормативам (БД РИОН); по ранее спроектированному специальному режущему инструменту (БД РИСС); по типовым технологическим процессам изготовления режущего инструмента (БД ТП РИ); по режущему инструменту, хранимому на складе (БД РИСК); по приспособлениям инструментального производства (БД ИП); по вспомогательному режущему инструменту (БД ВИ); по типовым проектам участков, цехов и заводов по производству режущего инструмента (БД УЦЗ РИ); по управляющим программам станков для изготовления режущих инструментов (БД УПС РИ); система управления базами данных (СУБД РИ) осуществляет регулирование и управление базами данных.

На предприятии связующим звеном между проектирующими и обслуживающими подсистемами, а также между подсистемами однородных групп является подсистема автоматизированного инструментального обеспечения технологических процессов (АИО ТП).

Подсистема «Графика РИ» обеспечивает выпуск документации в виде рабочих чертежей инструментов режущего и вспомогательного приспособлений, маршрутных и операционных технологических карт, операционных эскизов, планировки участков, цехов и заводов по производству режущего инструмента.

Формирование организационной структуры САПР РИ. Для каждого конкретного случая формирование структуры САПР РИ зависит от многочисленных факторов: типа производственного подразделения (участок, цех или завод), вида основного изделия, серийности производства, номенклатуры изделий, характеристик аппаратных средств вычислительной техники и др. При разработке САПР РИ для отрасли или крупного машиностроительного завода возможно включение всех видов подсистем в общую организационную структуру. На машиностроительных заводах число составляющих сокращается и разрабатываются подсистемы под номерами 1—3, 10—13, 19—21.

При проектировании гибких производственных систем для производства определенного вида режущего инструмента организационная структура САПР РИ принимает вид подсистем 1—5, 8—13, 19—21. На небольших заводах, в бюро инструментальных цехов число подсистем сокращается до одной — трех. В этом случае решают задачу только конструирования режущего инструмента (подсистемы 1,2) или задачу конструирования и технологии изготовления режущего инструмента (подсистемы 1—3).

Проектирующие и обслуживающие подсистемы в процессе работы находятся во взаимодействии и по отдельным модулям перекрывают друг друга. Один из вариантов схемы взаимодействия проектирующих и обслуживающих подсистем представлен на рис. 1.21. По входным параметрам детали определяются основ-

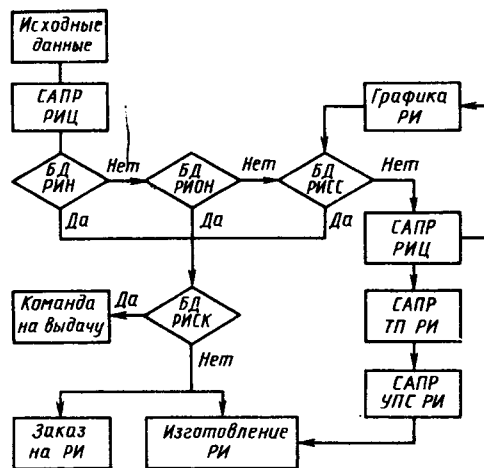


Рис. 1.21. Схема взаимодействия проектирующих и обслуживающих подсистем САПР РИ в ранге подсистемы автоматизированного инструментального обеспечения технологических процессов (АИО ТП)

ные параметры инструмента подсистемой САПР РИЦ; по параметрам инструмента осуществляется поиск подсистемой БД РИН нормализованного инструмента, подсистемой БД РИСС — ранее спроектированного специального инструмента. При соответствии параметров режущего инструмента параметрам инструмента в одной из указанных подсистем дается команда на поиск инструмента на складе (БД РИСК), в противном случае необходимо проектирование специального инструмента (САПР РИЦ) с последующими командами на проектирование технологии его изготовления (САПР ТП РИ), составление программ для станков (САПР УПС РИ) и изготовление инструмента. Если на складе (БД РИСК) инструмент по данным подсистем БД РИН или БД РИОН есть, то дается команда на выдачу, если нет — на изготовление инструмента или составление заказа на его приобретение. Реализация схемы осуществляется в ранге подсистемы АИО ТП.

Структура обеспечения САПР РИ. Проектирующие и обслуживающие подсистемы теоретически базируются на структуре обеспечения САПР РИ (рис. 1.22). Методическое обеспечение позволяет сформировать методику решения задачи

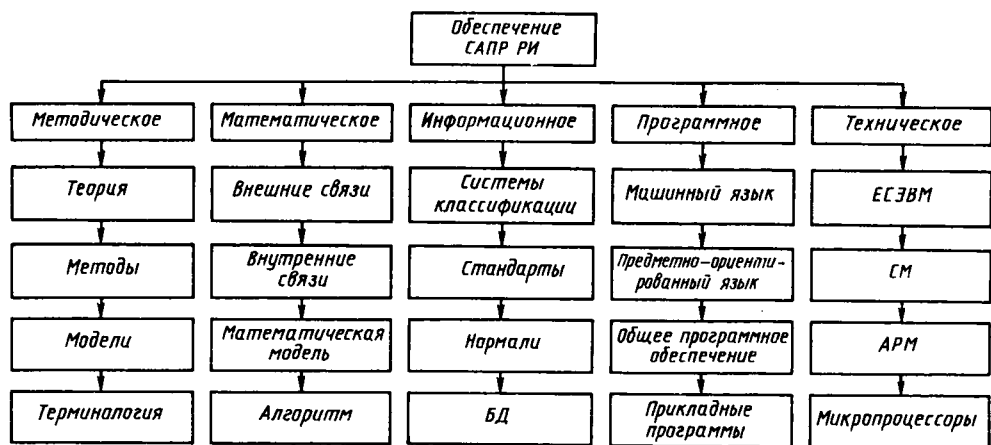


Рис. 1.22. Структура обеспечения САПР РИ

на базе теории проектирования режущего инструмента, методов решения конкретных задач, методов моделирования инструментов, процессов профилирования с учетом терминологии и стандартов на инструменты.

Математическое обеспечение позволяет после формирования исходных данных формализовать внешние связи инструмента (станок, технологический процесс, деталь и пр.), внутренние связи (материал инструмента, геометрические параметры, основные размеры) и составить математическую модель проектирования в целом в виде алгоритма и детальной структурной схемы.

Разработка информационного обеспечения базируется на научно-технической, нормативно-справочной, расчетно-проектной информации и системе классификации и кодирования. Организация сбора, преобразования, хранения и изменения данных — это самостоятельная задача, от эффективности решения которой существенно зависит эффективность информационной системы в целом. Формирование базы данных по режущему инструменту — сложная и объемная задача. Отбор материала в виде стандартов на режущий инструмент, инструментальные материалы, типовые технологические процессы, их кодирование и др. требует переработки большого количества информации, на основе которой формируются файлы:

режущих инструментов данного типа (код инструмента, наименование и другие характеристики);

инструментальных материалов для инструментов данного типа (код материала, марка стали и другие свойства);

геометрических параметров (код параметра, наименование, его значение и др.);

типовой маршрутной технологии на данный тип инструмента (перечисление операций и переходов и др.).

Для работы с базой данных создается система управления базой данных (СУБД). СУБД выполняет следующие основные функции: определение баз данных, запись данных в базу, организация хранения данных, предоставление доступа к данным.

Разработка программного обеспечения САПР РИ включает в себя общесистемное программное обеспечение для организации процесса обработки, ввода-вывода, управления данными, распределения ресурсов и др.; прикладное программное обеспечение в виде пакета прикладных программ для решения конкретных задач; входные языки.

Последняя составляющая структуры обеспечения САПР РИ — технические средства. Выбор средств зависит от принятого состава САПР РИ, намеченного конечного результата работы системы, объема информации по режущему инструменту в БД и др.

Последовательность разработки и содержание проектирующих подсистем САПР РИ. Для любого вида режущего инструмента проектирующие подсистемы разрабатываются в следующей последовательности: отработка общих методических принципов проектирования; описание параметров обрабатываемых деталей, методика расчета конструктивных элементов режущего инструмента (или параметров технологического процесса, инструментального цеха и др.); отработка схемы по методике расчета; определение состава и функции программных модулей; разработка программ по расчету параметров инструмента (технологического процесса и др.) [1].

Содержание проектирующих подсистем зависит от вида проектируемого объекта. В качестве примера на рис. 1.23 представлены программные модули проектирующей подсистемы САПР РИЦ — зенкер.

Программа «Диспетчер» — основная процедура, обеспечивающая ввод исходных данных, диспетчеризацию процесса вычислений и вызова процедур; программа «Материал» — процедура по выбору марки инструментального материала для зенкера с учетом материала детали и условий производства; программа «Диаметр» — процедура по определению диаметра зенкера и допуска на диаметр; программа «Глубина» — процедура по определению глубины канавки и диаметра сердцевины; программа «Геометрия» — процедура по назначению геометрических параметров режущей части зенкера; программа «Ленточка» — процедура по определению параметров ленточки и ширины зуба; программа «Профиль» — процедура по определению размеров профиля зенкера; программа «Хвостовик» — процедура по выбору хвостовика и назначению размеров на элементы хвостовика и шейки; программа «Длина» — процедура

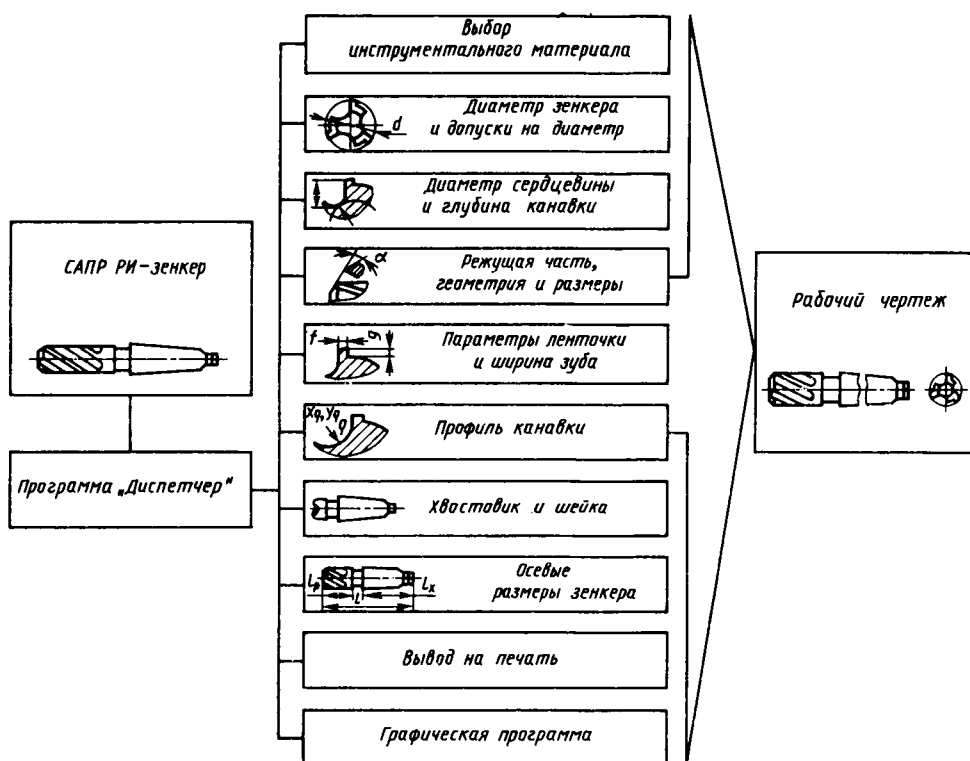


Рис. 1.23. Содержание программных модулей САПР РИЦ — зенкер

по определению размеров зенкера по оси; программа «Печать» — процедура по выводу результатов проектирования на печать; программа «Графика» — процедура реализации результатов программы «Вывод на печать» в виде рабочего чертежа зенкера.

Каждая из указанных программ является составным модулем и работает автономно, т. е. может быть исключена из системы и записана известным параметром. Модульный принцип позволяет наращивать и совершенствовать структуру программы по проектированию любого типа режущего инструмента путем ввода дополнительных модулей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое различие в определении кинематической скорости результирующего движения резания при продольной и поперечной подаче инструмента.

2. Как изменяется направление результирующего движения D_e и положение плоскости резания P_n по длине прямолинейной режущей кромки резца при продольной подаче, влияние на значения передних γ и задних α углов.

3. Каково назначение лапки и внутренней резьбы у конических хвостовиков инструментов.

4. Какие свойства инструмента обеспечивают его наибольшую производительность, лучшее качество и точность размеров обработанной поверхности.

5. Какие применяют схемы резания и формообразования при конструировании инструментов, укажите их преимущества и недостатки, примеры применения.

6. Перечислите основные части инструментов, их назначение.

7. Укажите виды базовых поверхностей инструментов и их основные размеры.

8. Как определить исполнительные размеры рабочих элементов инструментов?

9. Каким общим требованиям должен удовлетворять инструмент и какими способами их можно обеспечить.

10. Из каких компонентов состоит твердый сплав Т30К4. Можно ли применить этот сплав для черновой обработки детали из чугуна?

11. Какой из инструментальных материалов имеет наиболее высокую красностойкость.

12. Для чего быстрорежущие стали дополнительно имеют в качестве легирующих элементов ванадий и кобальт.

13. Можно ли применять для обработки режущий инструмент из быстрорежущей стали, если температура в зоне резания будет выше 700 °С?

14. У какого из перечисленных ниже инструментальных материалов будет наибольшим предел прочности при изгибе: Т5К12, ВК6М, ЦМ332, алмаз, композит?

15. Какой из инструментальных материалов обладает наиболее высокой твердостью.

16. Будет ли эффективным применение алмаза в качестве режущего элемента инструмента при обработке черных металлов?

17. Перечислите основные составляющие организационной структуры САПР режущего инструмента.

18. Какие задачи решают проектирующие подсистемы САПР режущего инструмента.

19. От каких факторов зависит степень интеграции элементов САПР для однотипных режущих инструментов.

20. Поясните принцип модульного построения пакетов прикладных программ на примере автоматизированного проектирования цельных зенкеров.

§ 2.1. РЕЗЦЫ

Резец — это однолезвийный инструмент для обработки деталей с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в любом направлении.

Резец является наиболее распространенным инструментом, его применяют на токарных, револьверных, карусельных, расточных, строгальных и долбежных станках, токарных автоматах и полуавтоматах и на многих специальных станках. В зависимости от вида станка и рода выполняемой работы применяют резцы различных типов, отличающихся по назначению, форме, конструкции и размерам.

Классификация резцов. Резцы различают по следующим признакам.

1. По виду обработки. Проходные для обработки наружных цилиндрических поверхностей. Проходные резцы могут быть прямыми (рис. 2.1, а) и отогнутыми (рис. 2.1, б). Отогнутые резцы получили широкое распространение из-за их универсальности, позволяющей вести обработку не только цилиндрических, но и торцовых поверхностей с поперечной подачей. Проходные упорные резцы (рис. 2.1, в) имеют угол в плане $\varphi = 90^\circ$, их применяют при обтачивании ступенчатых валиков и при обработке нежестких деталей. Подрезные (рис. 2.1, г) предназначены для обработки торцовых поверхностей, перпендикулярных оси вращения детали, эти резцы работают с поперечной подачей. Расточные (рис. 2.1, д) предназначены для обработки отверстий. Отрезные (рис. 2.1, е) — для отрезки заготовок или обработанных из прутка деталей. Резьбонарезные (рис. 2.1, ж) предназначены для нарезания

резьбы. Резцы для контурного точения (рис. 2.1, з) обеспечивают возможность обработки тел вращения с фасонной образующей на станках с копировальными устройствами и станках с ЧПУ. Эти резцы имеют увеличенные вспомогательные углы в плане. Фасонные (рис. 2.1, и) резцы предназначены для обработки деталей сложного профиля на токарных, револьверных станках, автоматах и полуавтоматах.

2. По характеру обработки: черновые, чистовые, для тонкого точения.

3. По установке относительно детали: радиальные, тангенциальные.

4. По направлению подачи: правые, левые.

5. По конструкции головки: прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые.

6. По сечению корпуса: прямоугольные, квадратные, круглые.

7. По конструкции: цельные, составные, сборные.

8. По материалу рабочей части: из инструментальных сталей, из твердого сплава, из керамических материалов, из алмаза, из сверхтвердых синтетических материалов.

Конструктивные элементы резца. Резец (рис. 2.2, а) состоит из рабочей части l_1 и крепежной части l_2 , служащей для закрепления резца на станке. Лезвие ограничено передней A_r , главной A_g и вспомогательной A'_g задними поверхностями. Пересечение передней и задней поверхностей лезвия образует главную режущую кромку K . Пересечение передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образует вспомогательную режущую кромку K' . Главная и вспомогательная режущие кромки, пересекаясь,

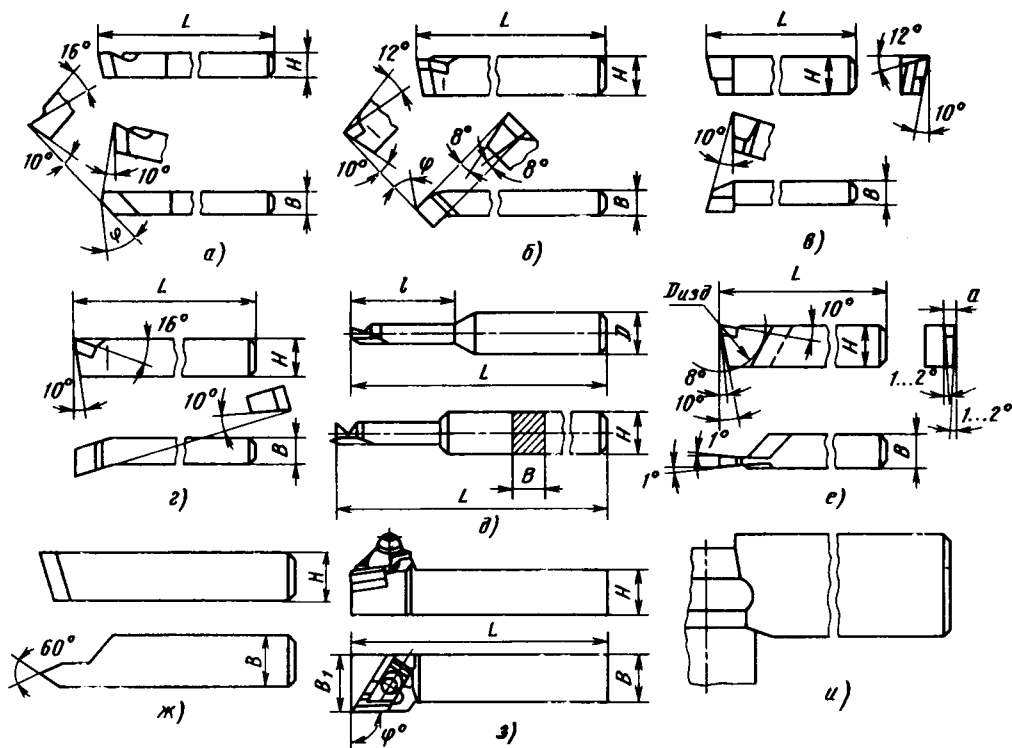


Рис. 2.1. Токарные резцы

образуют вершину лезвия. Вершину лезвия выполняют по радиусу r_v (рис. 2.2, б), иногда с переходной режущей кромкой (рис. 2.2, в), обеспечивающей улучшение шероховатости обрабатываемой поверхности и повышение стойкости резца.

Геометрическая форма лезвия резца определяется следующими геометрическими параметрами (рис. 2.2, з): главный передний угол γ , главный задний угол α , вспомогательный задний угол α_1 , угол резания δ , угол заострения β , угол наклона режущей кромки λ , главный угол в плане φ , вспомогательный угол в плане φ_1 , радиус вершины r_v . Указанные параметры выбирают по справочникам, исходя из физико-механических свойств материала обрабатываемых заготовок, характера обработки, служебного назначения резцов, жесткости системы станок — инструмент — приспособление — заготовка, требований к шероховатости обработанных поверхностей, размеров резцов и материала их режущей части.

Значения передних углов могут быть положительными, равными нулю и отрицательными. Отрицательные передние углы назначают для инструментальных материалов (твердых сплавов, керамических, синтетических сверхтвердых), имеющих низкий предел прочности при изгибе. Угол наклона λ главной режущей кромки резца может быть равен нулю, положительным и отрицательным. Его значение влияет на прочность режущей кромки лезвия и направление схода стружки. При прерывистом резании угол λ следует выбирать положительным (до 20°), так как в этом случае в момент врезания нагрузка будет приложена не к вершине лезвия, а на участок режущей кромки, удаленный от нее. При положительном угле λ стружка отводится в направлении, противоположном подаче, а при отрицательном — в направлении движения подачи.

Габаритные размеры резцов. С целью унификаций присоединительных размеров

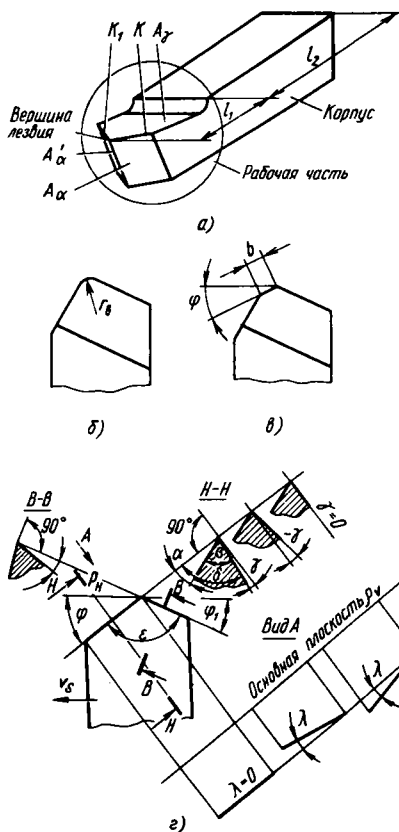


Рис. 2.2. Конструктивные элементы и геометрические параметры резцов

резцедержателей станков сечения резцов стандартизованы. Принят следующий ряд размеров сечения $H \times B$, мм²: квадратные 4×4; 6×6; 8×8; 10×10; 12×12; 16×16; 20×20; 25×25; 32×32; 40×40; прямоугольные 16×10; 20×12; 20×16; 25×16; 25×20; 32×20; 32×25; 40×25; 40×32; 50×32; 50×40; 63×50; круглые диаметром от 10 до 40 мм. Прямоугольная форма сечения принята с отношением сторон $H:B=1,6$ для полустойковой и чистовой обработки и $H:B=1,25$ — для черновой обработки.

Поперечное сечение корпуса резца определяют из расчета на прочность, учитывая только главную составляющую P_z силы резания, которая вызывает изгиб державки. Изгибающий момент, действующий на корпус резца, $M = P_z l$, кН·мм,

где l — вылет корпуса резца, $l = (1,0 \dots 1,5) H$, здесь H — высота резца. Изгибающий момент, допускаемый сечением державки резца, $M_p = \sigma_n W$, где σ_n — допустимое напряжение на изгиб; W — момент сопротивления сечения резца, см³. Для резцов прямоугольного сечения $W = BH^2/6$, где B — ширина корпуса резца, мм. Для резцов квадратного сечения $W = B^3/6$, а для резцов круглого сечения $W = 0,1d^3$, где d — диаметр корпуса резца, мм.

Принимая $M = M_p$ и $H:B=1,6$, получим: для резца прямоугольного сечения

$$B = \sqrt{\frac{2,34 P_z l}{\sigma_n}};$$

для резца квадратного сечения

$$B = \sqrt{\frac{6 P_z l}{\sigma_n}};$$

для резца круглого сечения

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 P_z l}{\sigma_n}};$$

Допускаемое напряжение на изгиб для корпусов из конструкционной стали равно 100—250 МПа. Приведенный расчет является приближенным, так как в нем не учтены радиальная P_y и осевая P_x составляющие силы резания.

В машиностроении используют резцы с рабочей частью из быстрорежущей стали, твердого сплава, керамических материалов, алмаза и сверхтвердых синтетических материалов. Конструктивное оформление резцов и форма заточки рабочей части зависит от материала инструмента и условий эксплуатации, которые необходимо учитывать при проектировании.

Резцы из быстрорежущей стали. Резцы из быстрорежущей стали могут быть цельными или составными с приваренной встык рабочей частью или приваренной пластиной. Составные конструкции обеспечивают экономию быстрорежущей стали. Форму передней поверхности резцов и геометрические параметры назначают в зависимости от свойств материала заготовки. Применяют четыре формы заточки передней поверхности (рис. 2.3). Плоскую форму с положительным передним углом (рис. 2.3, а) рекомендуют для обработки

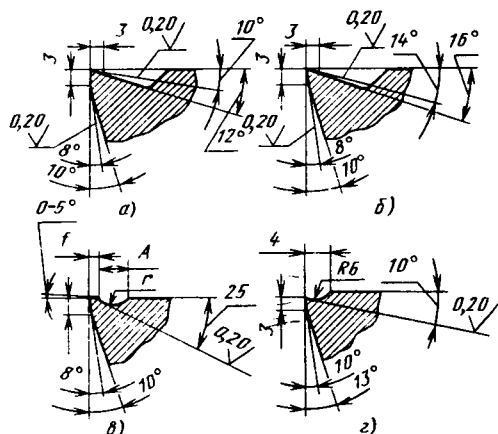


Рис. 2.3. Форма заточки передней поверхности резцов из быстрорежущей стали

заготовок из стали с $\sigma_b > 800$ МПа, из серого чугуна с $HB > 220$, бронзы и других хрупких материалов. Форма заточки, показанная на рис. 2.3, б, отличается от предыдущей увеличенным до 14° передним углом, ее рекомендуют для обработки заготовок из стали с $\sigma_b \leq 800$ МПа и чугуна при $HB \leq 220$. Криволинейные формы передней поверхности обеспечивают завивание и дробление стружки при обработке вязких материалов. Форму, приведенную на рис. 2.3, в, применяют при обработке заготовок из стали с $\sigma_b \leq 800$ МПа, а форму, данную на рис. 2.3, г, — при обработке легких сплавов.

Конструктивные особенности расточных резцов. Расточные резцы применяют для обработки отверстий, они часто работают в тяжелых условиях при значительных вылетах (до $(6-8)d$). Корпуса расточных резцов выполняют либо полностью круглыми, либо круглыми у рабочей части резца и прямоугольными или квадратными на конце державки, закрепляемом в суппорте станка. Отношение диаметра державки к диаметру растачиваемого отверстия $0.5-0.8$. Расточные резцы могут иметь два исполнения. В первом исполнении (рис. 2.4, а) вершина лезвия располагается выше оси заготовки, и вследствие деформирования корпуса его режущая кромка врежется в обрабатываемую поверхность, отчего увеличивается

сила резания. Резцы имеют малую виброустойчивость. Во втором исполнении (рис. 2.4, б) вершина лезвия резца располагается в осевой плоскости обрабатываемого отверстия, и при деформировании корпуса режущая кромка отходит от обрабатываемой поверхности. В результате сила резания уменьшается и виброустойчивость резца возрастает. Задняя поверхность расточных резцов выполняется так, чтобы исключить пересечение ее с обрабатываемой поверхностью заготовки (рис. 2.4, в).

Конструктивные особенности отрезных резцов. Отрезные резцы (рис. 2.4, г) выполняют с оттянутой рабочей частью, так как ее ширина делается меньше ширины корпуса. Длина рабочей части должна быть больше радиуса отрезаемой заготовки. Отрезные резцы работают в тяжелых условиях. Вследствие небольшой ширины рабочей части ее прочность недостаточна, поэтому для увеличения ее сечения приходится назначать небольшие вспомогательные углы в плане ϕ_1 и задние вспомогательные α_1 углы за счет снижения стойкости. Эти углы назначают в пределах $1-2^\circ$. Кроме того, затруднен отвод стружки из зоны резания. Отрезной резец обычно не удаляет весь металл на срезе, и в конце реза заготовка отламывается, а в центре остается стержень. Если необходимо полностью, без стержня, обработать торец, то главную режущую кромку резца делают под углом в плане $75-80^\circ$ (рис. 2.4, д), а не 90° , как обычно.

Твердосплавные резцы. Твердосплавные резцы широко применяют в машиностроении, так как они обеспечивают повышение эффективности использования современного металлообрабатывающего оборудования и производительности труда за счет увеличения скорости резания до 5 раз по сравнению с резцами из быстрорежущей стали. Высокие твердость и теплостойкость твердых сплавов позволяют обрабатывать резанием заготовки из труднообрабатываемых конструкционных материалов и закаленных сталей. Твердосплавные резцы могут быть цельными, составными, с припаянными или приваренными пластинами из твердого

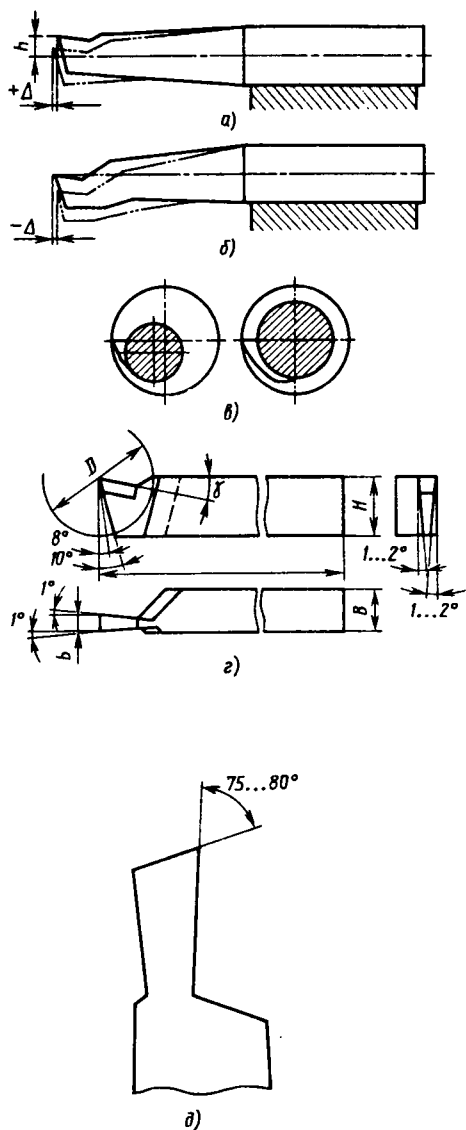


Рис. 2.4. Конструктивное оформление передней поверхности расточных (а—в) и отрезных (г, д) резцов

сплава и с механическим креплением режущих элементов, выполненных главным образом в виде многогранных пластин. Цельными делают малогабаритные резцы, главным образом расточные.

Резцы с припаянными твердосплавными пластинами (см. рис. 2.1, б) просты по конструкции, технологичны, виброустойчи-

вы, удобны в эксплуатации и по внешнему виду мало отличаются от резцов из быстрорежущих сталей. Однако они обладают существенными недостатками. Коэффициент линейного расширения твердых сплавов в 2 раза меньше, чем у конструкционных сталей. При остывании места спая материал корпуса сжимается больше, чем пластина из твердого сплава, которая подвергается внецентровому сжатию. В пластине возникают напряжения, которые могут вызвать образование микротрещин на поверхности пластины. Таким образом, физико-механические свойства пластин ухудшаются и уменьшается прочность режущей кромки. Вероятность образования микротрещин увеличивается, если корпус подвергнуть термической обработке после напайки пластины. В процессе работы корпус под пластиной твердого сплава сминается, что приводит к отпаиванию или поломке пластины. Вследствие этого число переточек твердосплавных напайных резцов составляет всего 4—6, что приводит к увеличению расхода твердых сплавов и конструкционной стали для изготовления корпусов. Приведенные недостатки отсутствуют у резцов с механическим креплением пластин.

Конструктивное оформление передней поверхности резцов зависит от свойств материала заготовки. На рис. 2.5, а приведена форма заточки резцов для обработки заготовок из чугуна с твердостью $HB \leq 220$, бронзы и других хрупких материалов. На рис. 2.5, б приведена форма заточки резца для обработки заготовки из чугуна с $HB > 220$. Отрица-

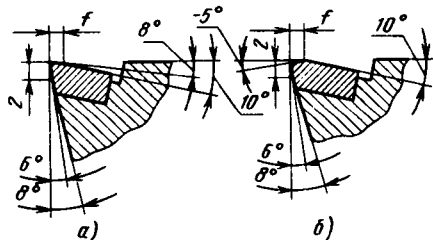


Рис. 2.5. Конструктивное оформление передней поверхности твердосплавных резцов

тельная фаска вдоль режущей кромки упрочняет последнюю, при этом кромка испытывает напряжение сжатия.

Твердосплавными резами обрабатывают детали со скоростью $v=120\ldots 300$ м/мин. С увеличением скорости резания при обработке пластичных металлов образуется сливная стружка, которая опасна для рабочего, мешает наблюдению за процессом обработки и может повредить обработанную поверхность детали. При работе инструмента в условиях гибкой производственной системы наличие сливной стружки вообще недопустимо. Поэтому принимают дополнительные меры, обеспечивающие надежное стружкозавивание и стружколомание, используя либо соответствующую геометрию рабочей части инструмента, уступы (порожки) и лунки (канавки) на передней поверхности, накладные стружколомы (регулируемые и нерегулируемые) или специальные стружколомающие устройства.

Одним из способов, обеспечивающим стружколомание, является подбор отрицательного переднего угла $\gamma = -(10\ldots 15)^\circ$, главного угла в плане $\phi = 60\ldots 90^\circ$ и угла наклона режущей кромки $\lambda = 10\ldots 15^\circ$, способствующих завиванию и ломанию стружки за счет увеличения ее деформирования в процессе резания. Этот способ может быть рекомендован только при жесткой системе станок — приспособление — инструмент — заготовка.

Метод стружколомания с помощью уступа на передней поверхности (рис. 2.6, а) не является универсальным, так как параметры уступа B , τ , h_s и ϵ назначают в зависимости от свойств материала заготовки и подачи [42].

Завивание и ломание стружки можно также обеспечить с помощью лунки (канавки), образованной на передней поверхности в направлении, параллельном главной режущей кромке или наклонном к нему (рис. 2.6, б). По сравнению с уступом лунка предпочтительнее из-за меньшего расхода инструментального материала. Лунки шлифуют в виде части цилиндрической поверхности с радиусом r , но возможны и комбинированные варианты уступа с лункой. Так же как

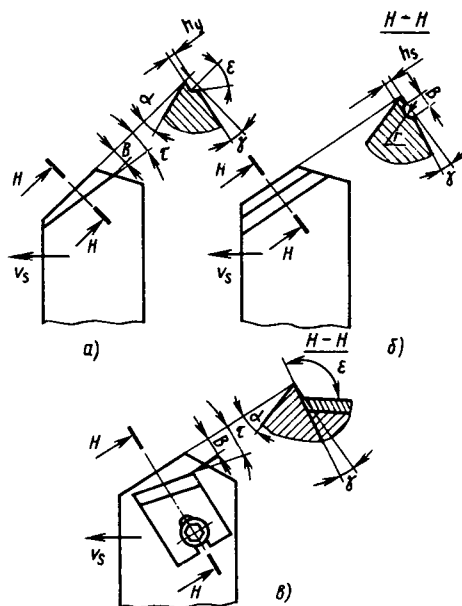


Рис. 2.6. Устройства для ломания стружки

и уступ, лунка не является универсальным средством для обеспечения стружколомания. В каждом конкретном случае обработки необходимо предусматривать оптимальные значения параметров лунки.

Накладной регулируемый стружколом (рис. 2.6, б, в) представляет собой накладную планку, которую можно устанавливать в различных положениях относительно режущей кромки. В месте контакта со стружкой на стружколоме напаяна твердосплавная пластина для уменьшения изнашивания поверхности стружколома. Параметрами стружколома являются расстояние B от главной режущей кромки, угол τ между стружколомом и режущей кромкой, угол ϵ наклона контактной поверхности стружколома; $\epsilon = 135^\circ - \gamma$, где γ — передний угол [13]. Значение B зависит в основном от подачи, и с ее увеличением значение B увеличивают. Угол τ наклона стружколома увеличивается с увеличением главного угла в плане ϕ .

В автоматизированном производстве применяют специальные устройства, обеспечивающие возможность дополнительных перемещений реза в направле-

нии движения подачи с определенной частотой и амплитудой. Меняя частоту и амплитуду колебаний резца, можно управлять формой и размерами стружки.

Отрезные резцы. В машиностроении применяют несколько конструкций отрезных резцов с припаянными пластинами из твердого сплава. Одна из распространенных конструкций по внешнему виду не отличается от конструкции резца из быстрорежущей стали (см. рис. 2.4, г). К державке припаяна пластина из твердого сплава прямоугольного сечения. Углы φ_1 и α_1 увеличены до 2—3°. Данная конструкция не обеспечивает стабильности в работе из-за частых поломок рабочей части, отпаивания пластины или ее сколов на уголках. Для увеличения прочности высоту рабочей части резца делают больше высоты корпуса (рис. 2.7, а). Отпаивания пластин можно избежать, если применить пластину с V-образной опорой (рис. 2.7, б), а сколы по уголкам устраняют заточкой фасок $f \times 45^\circ$ на переходных режущих кромках с отрицательным передним углом (рис. 2.7, в). Применяют отрезные резцы с симметричной ломаной режущей кромкой (рис. 2.7, г) с углом в плане $\varphi = 60 \dots 80^\circ$. Такое оформление режущей части резца облегчает его врезание в заготовку и улучшает условия дробления стружки.

Общий недостаток приведенных конструкций — низкая надежность и большой расход конструкционной стали на их изготовление. Этот недостаток может быть устранен применением отрезных резцов сборной конструкции (рис. 2.7, д). Пластины с V-образной опорой крепят прихватом, причем вылет пластины регулируют рифлениями на корпусе резца.

Резцы для тяжелых токарных и карусельных станков. Применяемые на тяжелых станках твердосплавные резцы имеют большие габаритные размеры и массу до 60 кг. Такие резцы составной конструкции с припаянной пластиной из твердого сплава создают большие неудобства как при их изготовлении, так и при эксплуатации. Недостатки резцов составной конструкции можно устранить за счет применения резцов сборной конструкции (рис. 2.7, е). Резец снабжен сменной резцовой

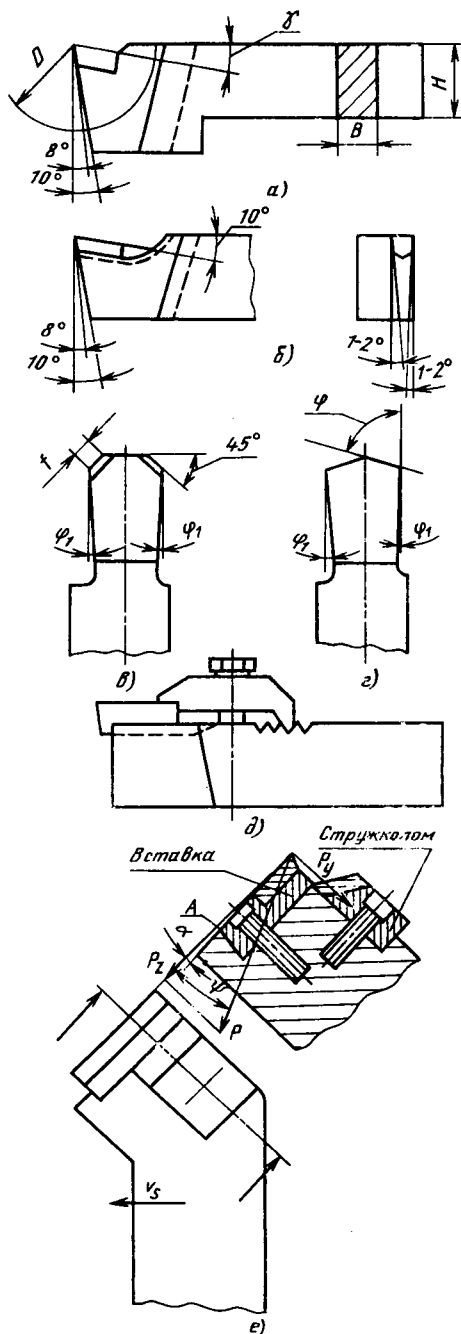


Рис. 2.7. Отрезные резцы и резцы для тяжелых станков

вставкой с припаянной пластиной из твердого сплава. Вставку закрепляют винтом в корпусе резца. Сила резания

воспринимается базовыми поверхностями корпуса, на которые опирается резцовая вставка. В результате винт крепления ножа разгружен от сил резания, и его назначение сводится к тому, чтобы поверхности базирования вставки прижать к базам корпуса. Таким образом, фактически для крепления вставки использована сила резания. На схеме результирующая P составляющих сил P_z и P_y направлена под углом ψ по отношению к силе P_z и проходит справа от точки A , обеспечивая отсутствие опрокидывающих моментов, действующих на вставку. При реза-

нии угол ψ равен $19\text{--}75^\circ$ в зависимости от режима резания [39]. Значения угла ψ следует учитывать при проектировании подобных резцов. Резец снабжен стружкозавивателем. Винт крепления стружкозавивателя будет разгружен от действующих сил, если его рабочая поверхность будет расположена под углом не более 45° по отношению к опорной поверхности.

Резцы, оснащенные многогранными твердосплавными пластинами с их механическим креплением к корпусу инструмента (рис. 2.8, а), широко распространены вследствие их существенных преимуществ

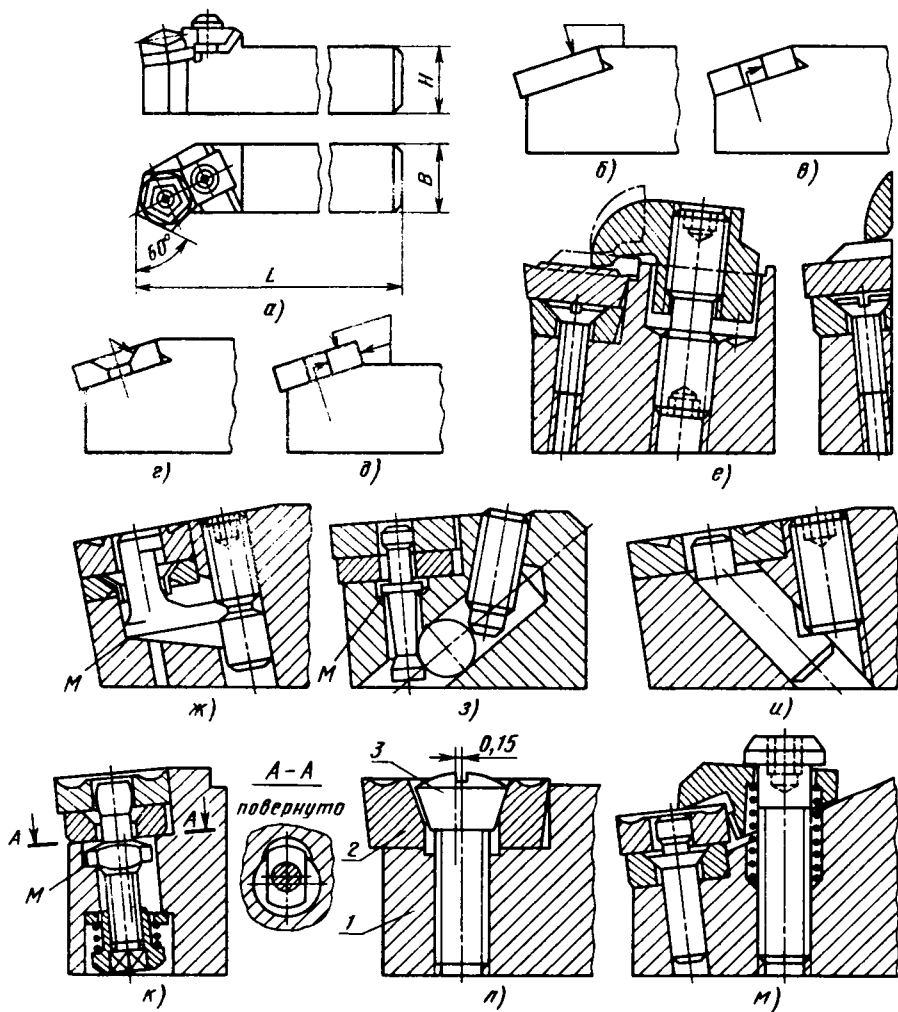


Рис. 2.8. Резцы, оснащенные многогранными пластинами из твердого сплава

по сравнению с твердосплавными инструментами составной конструкции, у которых пластины с корпусом соединены пайкой. К преимуществам резцов, оснащенных многогранными пластинами, следует отнести следующие.

1. Повышение прочности лезвия из-за отсутствия внутренних напряжений, возникающих при пайке.

2. Повышение надежности и долговечности, так как опорная поверхность под пластиной в корпусе резца может иметь высокую твердость. В этом случае в корпусе резца может быть использовано до 100 пластин. Для увеличения долговечности корпуса под режущей пластиной устанавливают опорную твердосплавную пластину, в результате чего в корпусе может быть изношено до 150 пластин.

3. Экономия конструкционной стали вследствие многократного использования корпуса резца.

4. Отсутствие операции затачивания резцов. После изнашивания достаточно либо повернуть пластину, либо заменить ее.

5. Большинство типоразмеров пластин имеют фасонную форму передней поверхности, обеспечивающую ломание или завивание стружки. Для пластин с плоской передней поверхностью предусмотрены многогранные пластины-стружколомы, которые применяют в тех случаях, когда диаметр вписанной окружности пластины равен 6,35 или 9,525 мм.

6. Изношенные пластины перерабатывают, извлекая вольфрам и другие дорогостоящие элементы, которые вновь используют для изготовления твердых сплавов.

Конструкции резцов, оснащенных многогранными пластинами, отличаются большим разнообразием применяемых способов крепления. Эти способы креплений можно свести к нескольким схемам (рис. 2.8, б—д). Крепление прихватом (рис. 2.8, б, е) применяют для пластин без отверстий, в том числе из керамических материалов. Пластины устанавливают в закрытый паз и базируют по опорной и боковым поверхностям. При этом обеспечивается высокая точность базирования пластин и высокая надежность

крепления. На резцах для обработки заготовок из стали можно применять стружколом. Этот метод крепления применяют также на концевых фрезах и расточных инструментах.

Возможно применение поворотного элемента (рычага, качающего штифта) или косой тяги (рис. 2.8, в, ж—к), обеспечивающих прижим пластины к боковым поверхностям закрытого паза корпуса. Этот метод применяют для крепления пластин с отверстием, он обеспечивает высокую точность базирования, однако не гарантирует точного прилегания опорной поверхности пластины к опорной поверхности на корпусе. Устранение зазора обеспечивается прижимом пластины от руки при затягивании крепления. Достоинство этого способа — отсутствие выступающих деталей крепления. Способ крепления пластин, показанный на рис. 2.8, к, исключает необходимость применения винта в конструкции резца. Для поворота и замены пластины достаточно сжать пружину (на рис. 2.8, ж, з и к точка, относительно которой поворачивается деталь крепления пластины, обозначена буквой М).

Схема крепления, приведенная на рис. 2.8, г, предусматривает применение пластин с коническим отверстием для крепления винтами с конической головкой. Ось винта 3 сдвинута на 0,15 мм относительно отверстия пластины (рис. 2.8, л), что обеспечивает прижим пластины 2 к опорной и боковым сторонам 1 закрытого паза. Крепление отличается простотой и получило за последние годы широкое распространение. Его применяют также на концевых фрезах и расточном инструменте.

Крепление пластины между штифтом и клином-прихватом (рис. 2.8, д, м) прижимает пластину к опорной поверхности. Закрытый паз для базирования пластины по ее боковым поверхностям отсутствует, поэтому при повороте и замене пластины вершина ее занимает произвольное положение. Конструкция резца менее трудоемка, чем ранее рассмотренные, и ее следует применять только на универсальном оборудовании. Конструкции, приведенные на рис. 2.8, б, в, г, можно приме-

нять как на универсальном оборудовании, так и на автоматических линиях и станках с ЧПУ при условии использования пластин повышенной точности. Пластины повышенной точности в сочетании с креплением, обеспечивающим точную установку пластин при их повороте или замене, позволяют избежать повторной настройки резца на размер.

Кроме резцов стандартных размеров, многогранными пластинами оснащают резцовые вставки (рис. 2.9). Вставки делают длиной 40—60 мм с регулировочными винтами (рис. 2.9, а) или без них (рис. 2.9, б). Применяют резцовые вставки на инструментальных блоках станков-автоматов и на комбинированных расточных инструментах. Регулировочные винты служат для настройки инструмента на размер. Крепят вставки в корпусах инструментов винтами.

Многогранные пластины, обычно трехгранной формы, применяют для некоторых типов специальных резцов, например, прорезных (рис. 2.10, а), предназначенных для обработки канавок. Для обработки деталей с повышенными припусками при подачах более 1 мм применяют резцы с вертикальным расположением многогранной пластины (рис. 2.10, б). Такое расположение пластины увеличивает ее прочность. Пластины могут быть специальными, с размерами до 40×40 мм и толщиной 10—12 мм для резцов тяжелых станков. Последний предназначен для обработки профиля железнодорожных колес на специальных станках.

Применение многогранных пластин позволяет снизить номенклатуру резцов, отличающихся различными углами ϕ , путем

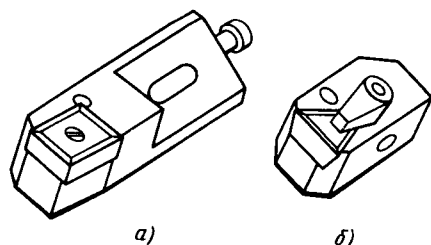


Рис. 2.9. Резцовые вставки

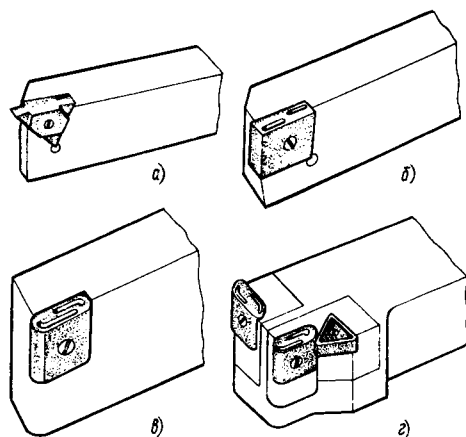


Рис. 2.10. Специальные резцы, оснащенные многогранными пластинами из твердого сплава

создания специальных конструкций, обеспечивающих поворот пластины в корпусе резца (рис. 2.11). Особенность конструкции состоит в том, что пластину закрепляют между штифтом и клином. Опорная поверхность клина выполнена конической и упирается в коническую поверхность в корпусе резца. Требуемый угол ϕ получают поворотом пластины и клина, после чего клин затягивают винтом. Штифт запрессован в корпусе резца.

Для инструментов, оснащенных многогранными пластинами без задних углов,

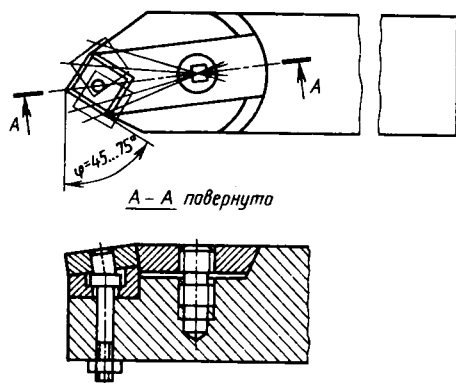


Рис. 2.11. Конструкция резца, обеспечивающая изменения главного угла в плане

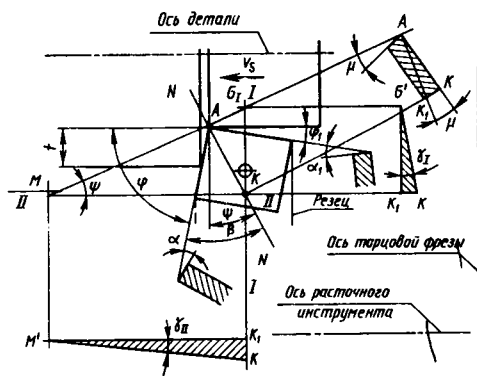


Рис. 2.12. Параметры расположения опорной поверхности многогранной пластины в корпусе инструмента

расчет параметров установки пластин в корпусе инструмента сводится к решению [37] следующих задач.

1. Определение формы пластины, т. е. числа n ее граней.

2. Определение положения плоскости $N-N$ (рис. 2.12), расположенной под углом β относительно главной режущей кромки. В этой плоскости необходимо повернуть пластину на угол μ для получения заданных главного α и вспомогательного α_1 задних углов. Этих данных достаточно для проектирования паза под пластину у резцов.

Число граней пластины [37]

$$n = 360 / (\varphi + \varphi_1), \quad (2.1)$$

где φ и φ_1 — соответственно заданные главный и вспомогательный углы в плане.

Дробное значение n округляют до целого, изменяя φ_1 , который должен быть в пределах $5-30^\circ$.

Положение плоскости $N-N$ относительно главной режущей кромки определяется углом β :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cos \varepsilon}, \quad (2.2)$$

где ε — угол при вершине пластины, $\varepsilon = 180(n-2)/n$.

Угол μ рассчитывают по формуле

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta}. \quad (2.3)$$

Знание углов β и μ необходимо для фрезерования паза под пластину в корпусе резца, однако вместо угла β удобнее использовать угол ψ между прямой, перпендикулярной к оси детали, и плоскостью $N-N$:

$$\psi = \varphi + \beta - 90^\circ. \quad (2.4)$$

Для фрезерования паза корпус резца устанавливают в поворотных тисках и в горизонтальной плоскости поворачивают на угол ψ , а в вертикальной плоскости — на угол μ . При этом опорная поверхность под пластину располагается параллельно поверхности стола фрезерного станка, и корпус резца можно поворачивать на любой угол вокруг вертикальной оси при фрезеровании боковых опорных поверхностей паза.

При проектировании расточного инструмента и токовых фрез надо иметь значения радиального γ_I и осевого γ_{II} передних углов. Если $AK=1$, то $KK_1 = \operatorname{tg} \mu$ и $MK = 1/\sin \psi$. Тогда для расточного инструмента

$$\operatorname{tg} \gamma_I = \operatorname{tg} \mu \cos \psi; \quad (2.5)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{II} = \operatorname{tg} \mu \sin \psi, \quad (2.6)$$

а для торцовых фрез

$$\operatorname{tg} \gamma_I = \operatorname{tg} \mu \sin \psi; \quad (2.7)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{II} = \operatorname{tg} \mu \cos \psi. \quad (2.8)$$

Резцы с режущими элементами из сверхтвердых инструментальных материалов. В качестве режущих элементов используют природные или синтетические алмазы и материалы на основе кубического нитрида бора (композиты) массой до 1—3 кар в зависимости от длины режущей кромки $L = 5G - 0,86G^2$, где G — масса режущего элемента.

Алмазные резцы применяют для обработки заготовок из цветных металлов и сплавов, стеклопластиков, пластмасс и некоторых других материалов. Композиты (эльбор-Р, гексанит-Р) применяют для обработки заготовок из закаленных сталей и чугунов. В связи с невысокой прочностью сверхтвердых материалов возможна лишь чистовая и получистовая обработка с небольшой глубиной резания и небольшой подачей. Эффективность работы резцов из сверхтвердых материалов в 5—6 раз выше эффективности работы твердосплавных резцов.

Передние и задние углы у резцов следует назначать с учетом обеспечения необходимой прочности лезвия. Передний угол ($5-10^\circ$) назначают в зависимости от свойств материала заготовки, задний $\alpha=8-12^\circ$.

На рис. 2.13 приведены конструкции резцов с припаянным алмазом (рис. 2.13, а) и с механическим креплением кристалла алмаза (рис. 2.13, б). Режущие кромки (рис. 2.13, в) этих резцов могут быть прямолинейными (I), радиусными (II) и фасеточными (III), обеспечивающими улучшение параметров шероховатости обработанной поверхности.

Широко распространены резцы с механическим креплением составных вставок (рис. 2.13, г), оснащенных кристаллами алмаза или композита, и с механическим креплением многогранных пластин из композита (рис. 2.13, д). Многогранные пластины из поликристаллов композита делают трехгранными, квадратными, шестигранными, ромбическими и круглыми с диамет-

ром вписанной окружности $3,97-9,66$ мм и с задними углами 7° и 11° .

Строгальные и долбежные резцы. На строгальных станках в начальный момент резания резцы испытывают ударные нагрузки, а при дальнейшем резании возможны вибрации, что связано с консольным креплением резца и изменением глубины резания. В связи с консольным вариантом крепления строгальных резцов (рис. 2.14) вершина лезвия в процессе резания (в результате отжима) будет перемещаться по дуге окружности с центром в точке А. При этом чем дальше вершина лезвия отстоит от опорной плоскости резца, тем больше радиус этой окружности. Дополнительное перемещение вершины приведет к ее углублению в тело заготовки, а это в свою очередь к изменению глубины резания и поломке резца. Во избежание этого необходимо, чтобы вершина лезвия резца располагалась на уровне его опорной плоскости, для чего резцы делают с изогнутым корпусом. У

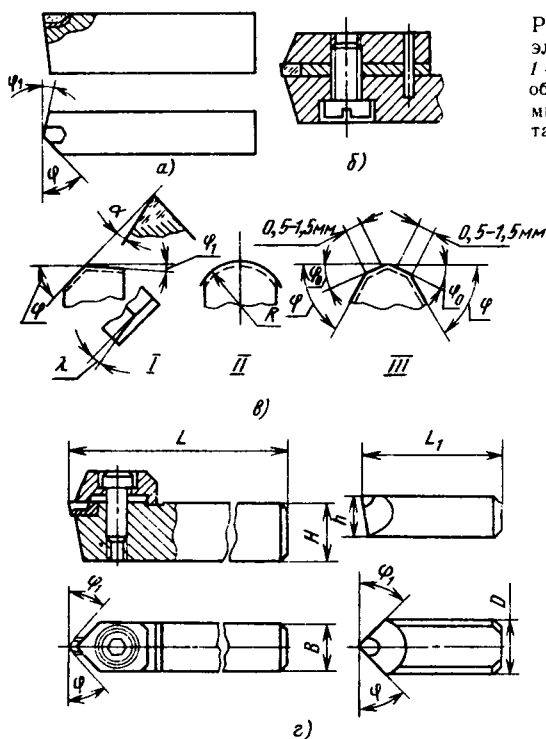
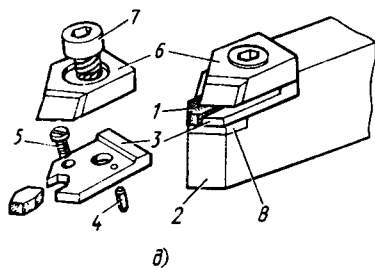


Рис. 2.13. Конструкции резцов с режущими элементами из алмаза и композита:

1 — многогранная пластина; 2 — корпус; 3 — обойма; 4 — штифт; 5 — винт крепления обоймы; 6 — прихват; 7 — винт крепления прихвата; 8 — твердосплавная подкладка



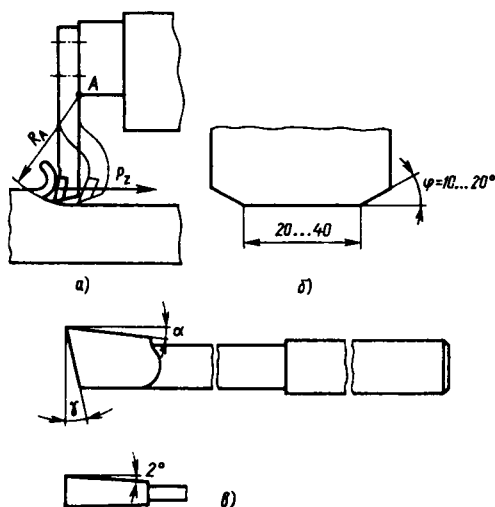


Рис. 2.14. Строгальные и долбежные резцы

строгальных резцов следует увеличить угол наклона главной режущей кромки до 20° с целью предохранения вершины лезвия от ударной нагрузки.

По роду выполняемой работы строгальные резцы делят на проходные, отрезные, подрезные. Для чистовой обработки плоскостей применяют чистовые резцы (рис. 2.14, б). Долбежные резцы (рис. 2.14, в) применяют при обработке внутренних поверхностей на долбежных станках в единичном и мелкосерийном производстве.

Фасонные резцы. Фасонные резцы применяют для обработки деталей с различной формой образующей. По сравнению с обычными резцами они обеспечивают идентичность формы, точность размеров детали, которая зависит в основном от точности изготовления резца, высокую производительность благодаря одновременной обработке всех участков фасонного профиля детали и большую экономию машинного времени. Резцы удобны в эксплуатации благодаря простоте переточки по передней поверхности.

Фасонные резцы используют на токарных и револьверных станках, автоматах и полуавтоматах. Резцы проектируют для обработки конкретной детали, и их применение экономически оправдано при крупносерийном и массовом производстве.

Фасонные резцы классифицируют по следующим признакам:

1. По форме: стержневые (рис. 2.15, а); призматические (рис. 2.15, б); круглые (рис. 2.15, в). Стержневые резцы можно устанавливать в резцедержателях универсальных станков. Недостатком их является уменьшение высоты рабочей части после переточки, компенсируемое подкладками. Стержневые резцы имеют малое число переточек. Их заднюю поверхность шлифуют под углом $\alpha = 10 \dots 12^\circ$.

Призматические фасонные резцы имеют большее число переточек. Их вершину в осевой плоскости заготовки устанавливают регулировочным винтом. Задний угол у этих резцов получают при установке их в специальных резцедержателях (рис. 2.16, а) под углом $\alpha = 10 \dots 12^\circ$. Крепление и базирование резца в резцедержателе осуществляется с помощью хвостовика типа ласточкина хвоста. Недостаток призматических резцов — невозможность обработки внутренних фасонных поверхностей.

Круглые фасонные резцы применяют для обработки как наружных, так и внутренних фасонных поверхностей. Они более технологичны, чем призматические, так как представляют собой тела вращения, и допускают большее число переточек и сглаживаются до остаточной по условию прочности величины.

Задние углы у круглых резцов получают установкой их оси выше осевой плоскости заготовки в специальных резцедержателях (рис. 2.16, б). Базируют резец в резцедержателе по отверстию и торцу, а вершину в осевой плоскости изделия устанавливают путем поворота резца вокруг оси. Для этого на торце резца сделан буртик с торцовыми зубьями. Торцовые зубья на резце сопрягаются с торцовыми зубьями рычага, устанавливаемого на одной оси с резцом. Рычаг поворачивают поворотом винта 2, находящегося в зацеплении с зубчатым сектором рычага 5.

2. По установке относительно заготовки: радиальные (рис. 2.15, а, б, в) и тангенциальные (рис. 2.15, г). Вершина радиального резца устанавливается в осевой плоскости заготовки, а подача осуществля-

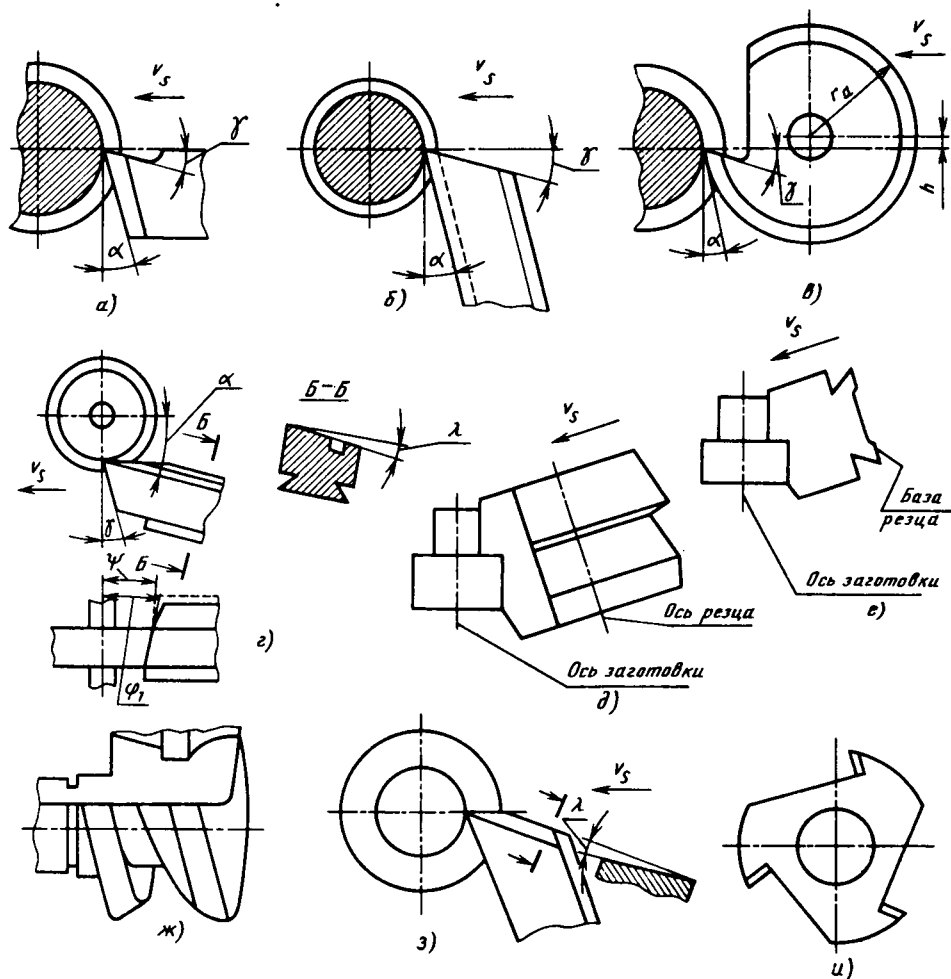


Рис. 2.15. Фасонные резцы

ется в направлении ее оси. Радиальный резец образует весь профиль заготовки одновременно. В результате на заготовку действуют значительные силы резания, которые могут привести к деформированию заготовки и появлению вибрации. Вершина тангенциального резца устанавливается по касательной к минимальному радиусу обрабатываемой заготовки. Передняя поверхность располагается под углом ψ по отношению к оси заготовки, обеспечивая не одновременное, а постепенное профилирование изделия. Вследствие этого резко снижается сила резания и уменьшается вероятность появления вибрации. Танген-

циальными резцами можно обрабатывать нежесткие заготовки большой длины.

3. По расположению оси отверстия или базы крепления резца: с параллельным расположением оси или базы крепления резца относительно оси заготовки (см. рис. 2.15, б, в); с наклонным расположением оси отверстия или базы крепления резца (см. рис. 2.15, д, е). Последние используют для увеличения задних углов по профилю резца при обработке заготовок, имеющих прямоугольные участки, перпендикулярные к ее оси. Подача резцов осуществляется в направлении, перпендикулярном к базам установки резца.

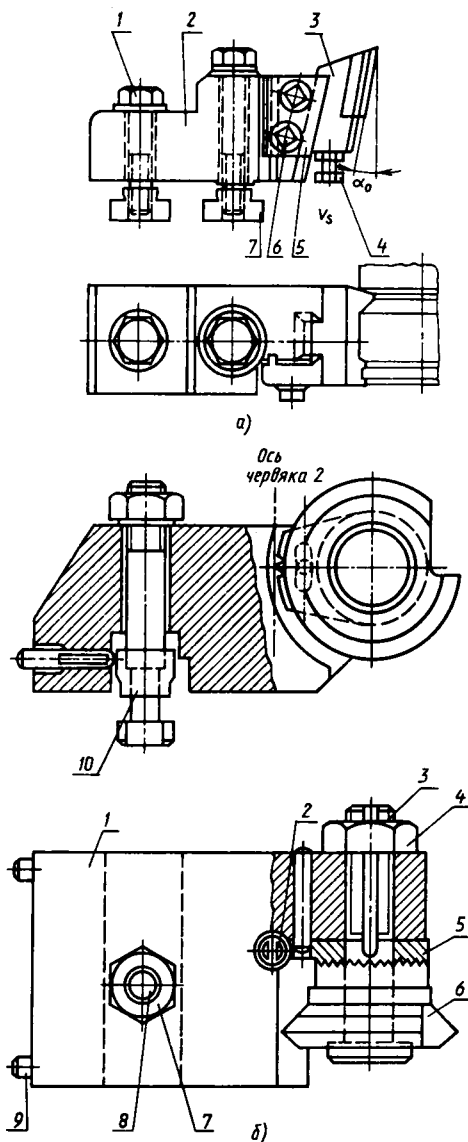


Рис. 2.16. Резцедержатели для крепления фасонных резцов:

a — призматического; 1 — винт крепления державки; 2 — корпус; 3 — резец; 4 — винт регулирования резца по высоте; 5 — прихват для зажима резца; 6 — винт; 7 — шпонка; *b* — круглого: 1 — корпус; 2 — винт поворота зубчатого сектора рычага; 3 — ось; 4 — гайка; 5 — рычаг; 6 — резец; 7 — гайка крепления резцедержателя; 8 — винт; 9 — винты регулирования шпонки; 10 — шпонка

4. По форме образующих фасонных поверхностей: с кольцевыми образующими (см. рис. 2.15, *в*); с винтовыми образу-

ющими (см. рис. 2.15, *ж*). Винтовые образующие позволяют увеличить задние углы резца при обработке с радиальной подачей заготовок, имеющих прямолинейные участки, перпендикулярные к ее оси.

5. По расположению передней поверхности: с положительным (или равным нулю) передним углом; с положительным передним углом и углом λ наклона режущей кромки (см. рис. 2.15, *з*). Такие резцы позволяют увеличить точность обработки деталей, имеющих конические участки.

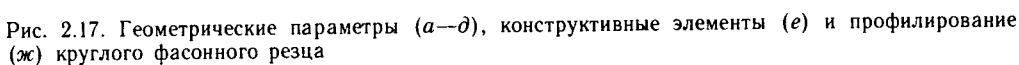
6. По конструкции: цельные; составные, например с припаянными пластинами из твердого сплава (см. рис. 2.15, *и*).

Геометрические параметры фасонных резцов. При проектировании резца задают передний γ и задний α углы для точки профиля резца, обрабатывающей минимальный радиус r_1 заготовки в плоскости, перпендикулярной к оси заготовки (рис. 2.17, *a*). Для круглых фасонных резцов смещение его оси h от линии центров заготовки для получения угла α составляет $r_a \sin \alpha$, где r_a — наружный радиус резца. Углы α и γ являются радиальными, и их значение изменяется для каждой точки профиля резца, радиус которой r_{ax} меньше максимального радиуса резца. На рис. 2.17, *a* показаны радиальные задний α_{1x} и передний γ_{1x} углы для точки x , профили резца с радиусом r_{0x} . Углы α_{1x} и γ_{1x} будут одинаковы для всех точек профиля резца, имеющих радиус r_{0x} . На рисунке показаны три таких точки: x_1 ; x_2 и x_3 . Эти точки профиля имеют разные углы в плане φ_x (угол в плане — угол между касательной к профилю резца и направлением скорости подачи v_s). Стойкость резца зависит от значения задних и передних углов в сечении, перпендикулярном проекции режущей кромки на основную плоскость.

Углы в нормальных сечениях рассчитывают по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{nx} = \operatorname{tg} \alpha_{1x} \sin \varphi_x; \operatorname{tg} \gamma_{nx} = \operatorname{tg} \gamma_{1x} \sin \varphi_x.$$

Для точек x_1 и x_2 углы в плане φ_{x_1} и φ_{x_2} больше нуля, поэтому передние и задние углы α_{nx} и γ_{nx} будут положительными, а для точки x_3 , в которой угол $\varphi = 0$, они равны нулю. На участке



В тех случаях, когда требуется высокая стойкость резца при обработке заготовки, участки профиля которой перпендикулярны к оси, следует применять резцы с осью, наклоненной к оси заготовки, или применять резцы с винтовой образующей. На рис. 2.17, а приведена схема определения величины радиальных переднего

Круглые фасонные резцы. Проектирование круглых фасонных резцов предусматривает решение следующих задач: а) назначение и расчет геометрических и конструктивных параметров, б) профилирование резца, т. е. определение его профиля в осевом сечении.

58

положение точки 9, последней точки профиля детали, и служащей для облегчения работы отрезного резца. Левая сторона подрезки должна располагаться на расстоянии 2...3 мм от наружного диаметра прутка. Подрезка имеет угол в плане $\varphi=15^\circ$ для того, чтобы задний угол α_n был положительным. Правую сторону профиля резца делают длиннее вылета прутка на 2—3 мм с учетом погрешности вылета прутка и для фиксации положения точки 1 при последующей подрезке торца детали. На правом торце резца располагается буртик с торцовыми зубьями, число которых $z=32...34$. Для того чтобы вершины зубьев были одинаковой ширины, их фрезеруют с поднутрением под углом μ ; $\operatorname{tg}\mu=\pi/z$, где z — число торцовых зубьев.

При проектировании фасонных резцов задний угол на вершине зуба выбирают в пределах $10\text{--}12^\circ$. Передний угол γ выбирают в зависимости от свойств материала заготовки: от нуля при обработке чугуна и бронзы до $25\text{--}30^\circ$ при обработке меди и алюминия. Диаметр посадочного отверстия $D=0,6L_d^{0,33}P_z^{0,38}$ — для резцов односторонним креплением: $D=0,78L_d^{0,33}P_z^{0,25}$ — для резцов с двусторонним креплением, где L_d — длина деталей, мм; P_z — главная составляющая силы резания, Н; $P_z=p_{yd}l_n$, здесь p_{yd} — сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки резца; l'_n — проекция длины режущей кромки на ось резца. Рассчитанный по формулам диаметр посадочного отверстия округляют до стандартного значения.

Наружный диаметр резца

$$d_a = \frac{2(0,5D + f + e + t)}{\cos \alpha},$$

где $f=0,4D$ — толщина стенки резца, мм; $e=3...8$ мм — пространство для схода стружки; $t=(r_{\max}-r_{\min})$ — глубина профиля резца, мм; $r_{\max}$ и $r_{\min}$ — соответственно максимальный и минимальный радиусы детали. Расчетное значение d_a округляют до целого, кратного пяти. Диаметр буртика с торцовыми зубьями $d_b=(1,5...1,7)D$. Диаметр выточки под головку оси $d_g=1,4D+1$, а ее длина $l_g=5...8$ мм. Длина шлифованной части

отверстия $l_1=0,25(B-l_b)$; $B=(L_d+l_n+6...8)$, где B — ширина резца; l_n — ширина подрезки.

На чертеже резца обязательно указывают расстояние $H=r_a\sin(\alpha+\gamma)$ от плоскости передней поверхности до оси резца, которое нужно выдерживать при переточках резца, которое нужно выдерживать при переточках резца, так как это обеспечивает сохранение его профиля.

Профилирование круглых фасонных резцов при параллельном расположении осей резца и детали. Из-за наличия передних и задних углов профиль резца в его осевом сечении будет отличаться от профиля детали в осевом сечении. Высота профиля резца меньше высоты профиля детали в сечении, перпендикулярном к оси детали. Для обеспечения необходимой точности фасонного профиля детали высотные размеры профиля фасонного резца необходимо корректировать. Осевые размеры на искажаются.

Корректировку профиля фасонного резца производят по характерным точкам детали (точки 1—9 на рис. 2.17, е). Эти точки находятся на стыке участков профиля с различным характером образующих. На конических участках берут дополнительную точку (примерно в середине), а для участков с криволинейными образующими — не менее трех дополнительных точек (кроме крайних).

Ниже приведен алгоритм определения радиуса одной из характерных точек фасонного профиля резца (рис. 2.17, ж):

$$\begin{aligned} m &= r_1 \sin \gamma; \\ A &= r_1 \cos \gamma; \\ \sin \gamma_1 &= m/r_x; \\ A_x &= r_x \cos \gamma_1; \\ C_x &= A_x - A; \\ \psi &= \alpha + \gamma; \\ H &= r_a \sin \psi; \\ B_1 &= r_a \cos \psi; \\ B_x &= B_1 - C_x; \\ \operatorname{tg} \psi_x &= H/B_x; \\ r_{0x} &= H/\sin \psi_x. \end{aligned}$$

Аналогичным образом определяют радиусы других характерных точек фасонного профиля. На рис. 2.18 приведена схема расчета профиля круглого фасонного резца.

Профиль фасонных резцов контролируют с помощью плоских шаблонов. Кон-

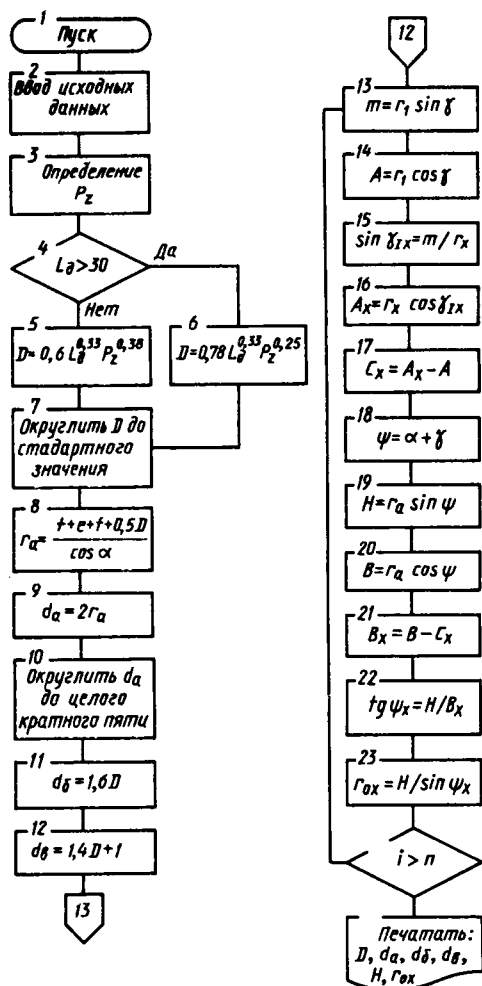


Рис. 2.18. Алгоритм расчета на ЭВМ круглого фасонного резца

тролируют на радиусы характерных точек, а высотные размеры от какой-либо базы. Обычно за базу принимают цилиндрический участок наибольшей протяженности. Если такого участка нет, то за базу принимают торец резца.

Профилирование призматических резцов с базовой поверхностью, параллельной оси заготовки. Задача сводится к определению глубины профиля для характерных точек (см. рис. 2.17, д).

Алгоритм расчета:

$$\begin{aligned}
 m &= r_1 \sin \gamma; \\
 A_1 &= r_1 \cos \gamma; \\
 \sin \gamma_{1x} &= m / r_x;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_x &= r_x \cos \gamma_{1x}; \\
 C_x &= A_x - A_1; \\
 \psi &= \alpha + \gamma; \\
 H_x &= C_x \cos \psi.
 \end{aligned}$$

Искажение профиля деталей при обработке фасонными резцами. Искажение профиля на конических участках связано с тем, что коническая поверхность пересекается с плоскостью, не проходящей через ось резца. Конические участки на резце, а следовательно, и на детали, будут иметь криволинейную образующую (гиперболу) выпуклую на резце и вогнутую на детали [12].

Погрешность профиля детали может быть уменьшена, если круглый фасонный резец выполнить с углом λ , определяемым по формуле $\operatorname{tg} \lambda = t_k \sin \gamma / l_k$, где t_k и l_k — соответственно глубина и длина конического участка профиля детали.

Для достижения наибольшей точности конических участков профиля детали необходимо применять призматические резцы с углом λ , которые сохраняют прямолинейной образующую конических участков.

§ 2.2. ПРОТЯЖКИ

Протяжка — многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих одно над другим лезвий в направлении, перпендикулярном к направлению скорости главного движения, предназначенный для обработки при поступательном или вращательном главном движении лезвия и отсутствии движения подачи (ГОСТ 25751—83). Большую группу протяжек применяют для обработки цилиндрических внутренних и наружных поверхностей заготовок с неизменными формой и размерами по длине обрабатываемой поверхности детали. Для обработки таких поверхностей протяжки имеют стержневую форму. У этих протяжек главное движение D , прямолинейно поступательное, по направлению совпадает с осью инструмента (рис. 2.19). Режущие кромки, смещенные в направлении, перпендикулярном к направлению главного движения (к оси протяжки), срезают слои материала с поверхности заготовки. Режу-

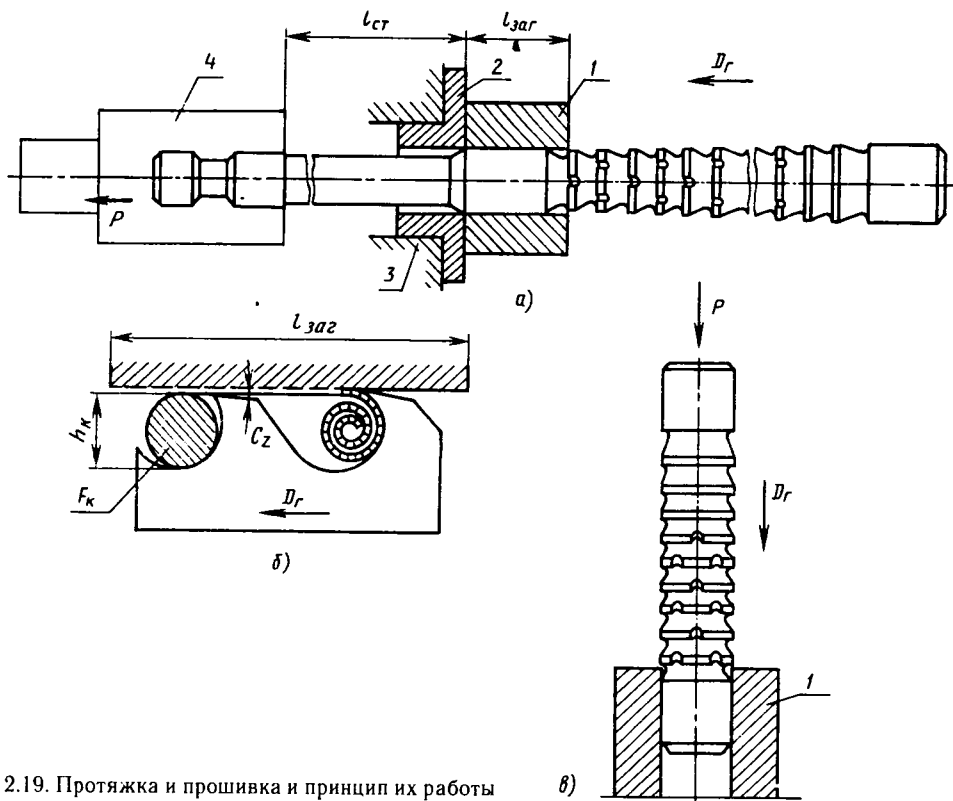


Рис. 2.19. Протяжка и прошивка и принцип их работы

щая кромка каждого зуба не копирует путь предыдущего, а перемещается параллельно его траектории с углублением в образованную предыдущим зубом поверхность. Такой принцип обработки резанием называют протягиванием, а применяемый инструмент протяжкой или прошивкой. В протяжках (рис. 2.19, а, б) сила резания приложена к передней рабочей части инструмента, при этом деформируется корпус инструмента (деформация растяжения). В прошивках (рис. 2.19, в) сила резания приложена к задней рабочей части инструмента, при этом деформируется стержень инструмента (деформация сжатия).

Каждая режущая кромка в процессе обработки перемещается прямолинейно поступательно, не имеет движения подачи на глубину, направление результирующего движения D_e (резания) совпадает с направлением главного движения D_r инструмента и лезвия, поэтому кинематические

геометрические параметры режущей кромки инструмента равны инструментальным.

Протяжки применяют на протяжных станках с прямолинейным главным движением D_r — движением резания в горизонтальном или вертикальном направлении. Обработка производится при сравнительно невысоких скоростях резания $v = 6 \dots 10$ м/мин; в последнее время выпускают станки для непрерывного протягивания с обеспечением скорости резания 45 м/мин и более.

Профиль образованной поверхности определяется формой режущих кромок зубьев, поэтому протяжки относят к фасонным лезвийным инструментам специального назначения, применяемым для обработки поверхностей определенной формы и размеров. Используют протяжки преимущественно в массовом и крупносерийном производствах, а также в мелкосерийном производстве для обработки поверхностей заготовок одинаковых по форме и разме-

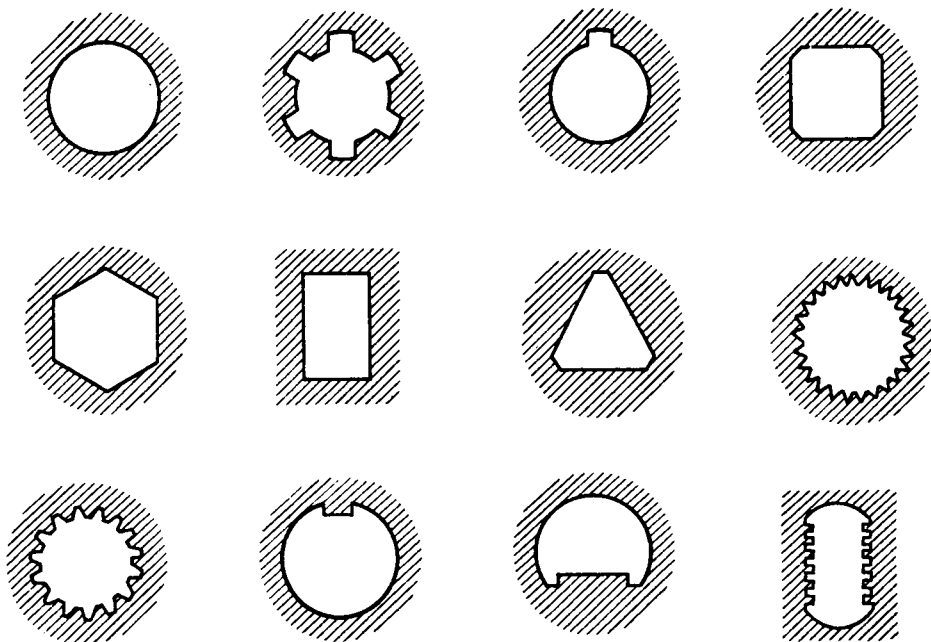


Рис. 2.20. Виды отверстий, полученных протягиванием

рам. В основном их применяют для обработки круглых, шлицевых, многогранных и других отверстий, а также шпоночных канавок (рис. 2.20), наружных поверхностей, прямолинейных по длине. Их применяют для получения деталей диаметром или шириной от 6—8 до 100 мм и более. Возможности обработки ограничиваются возможностями протяжного станка, силой тяги, создаваемой приводом на хвостовике протяжки, длиной рабочего хода ползуна. В отдельных случаях протяжки работают с вращательным главным движением и их применяют для обработки поверхностей вращения.

При обработке протяжками припуск снимается одновременно режущими лезвиями нескольких зубьев, что и определяет высокую производительность процесса. Обработка, в том числе и сложных поверхностей заготовок, осуществляется за один рабочий ход инструмента, благодаря чему сокращается вспомогательное время и обеспечивается высокая точность взаимного расположения элементов профиля обработанной поверхности.

При обработке отверстий обеспечивается точность в пределах 7—9-го качествен, параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a=0,32..2,5$ мкм, и производительность повышается в 3—12 раз по сравнению с другими способами механической обработки резанием.

Имеются примеры применения протяжек в технологических процессах механической обработки в условиях ГПС.

При внутреннем протягивании обработка происходит внутри заготовки, стружка формируется в замкнутом пространстве канавки, что затрудняет ее образование и отвод, затруднен подвод СОЖ, и наблюдать за процессом резания невозможно.

Предварительно отверстие в заготовке для обработки внутренними протяжками делают круглого сечения, легко технологически получаемое сверлением, растачиванием и другими аналогичными методами. Припуск, оставляемый на обработку протяжкой, зависит от качества предварительно обработанного отверстия, его размеров, диаметра d и длины L ; ориентировочно припуск на диаметр

$$\delta_d = 0,005d + (0,1 - 0,2)\sqrt{L} \quad (2.9)$$

В ГОСТ 20364—74 и 20365—74 установлены припуски под обработку цилиндрических отверстий протяжками переменного резания с обеспечением допуска $H7 - H12$: при диаметре $d = 10 \dots 18$ мм припуск $\delta_d = 0,6 \dots 0,66$ мм, при $d = 19 \dots 21$ мм $\delta_d = 0,9$ мм, при $d = 22 \dots 30$ мм $\delta_d = 1,1$ мм, при $d = 32 \dots 40$ мм $\delta_d = 1,2$ мм, при $d = 42 \dots 50$ мм $\delta_d = 1,3$ мм при $d = 52 \dots 71$ мм $\delta_d = 1,4$ мм и при $d = 75 \dots 90$ мм $\delta_d = 1,5$ мм.

Конструкция протяжек и их общие конструктивные элементы. Протяжки для обработки отверстий называют внутренними. Для отверстий разной формы их конструкция аналогична, но форма режущих кромок в сечении, перпендикулярном к оси протяжки, различается в соответствии с их назначением и формой обработанной поверхности. Протяжки для обработки внутренних поверхностей имеют вид стержня с симметричным расположением зубьев относительно оси протяжки. Это обеспечивает одинаковую симметричную относительно оси протяжки нагрузку от сил резания.

Внутренняя протяжка имеет (рис. 2.21, а) следующие основные конструктивные элементы (части): хвостовик с длиной l_1 служит для закрепления протяжки в патроне протяжного станка и передачи силы резания, шейку длиной l_2 (соединительная часть), переходной направляющий конус длиной l_3 , переднюю направляющую длиной l_4 , рабочую часть длиной l_5 , которая состоит из участков длиной l_6 с черновыми зубьями, длиной l_7 с переходными и чистовыми зубьями и участка l_8 с калибрующими зубьями, заднюю направляющую длиной l_9 и задний хвостовик длиной l_{10} .

Положение протяжки на горизонтально-протяжном станке перед началом рабочего хода приведено на рис. 2.19, а. Заготовку 1 устанавливают на передней направляющей протяжки (длина l_4) и прижимают к торцу фланца 2, закрепленного на опорной планшайбе 3 станка. Хвостовик протяжки длиной l_1 крепится в зажимном патроне 4 станка. При включении рабочего хода ползуна (движение резания $D_e = D_r$) режущие зубья протяжки, перемещаясь в отверстия заготовки, срезают припуск. Окончательно поверх-

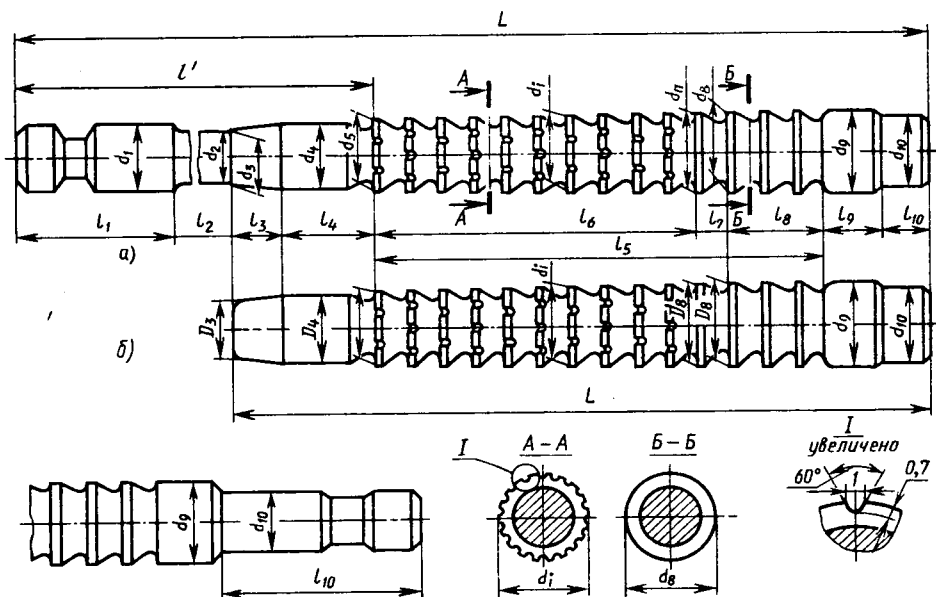


Рис. 2.21. Протяжка (а) и прошивка (б) для обработки круглого отверстия

ность образуется калибрующими зубьями (длина l_8).

Диаметр d_1 хвостовика протяжки должен соответствовать диаметру отверстия патрона станка и быть меньше (на 1—2 мм) диаметра предварительного отверстия заготовки под обработку. Применяют хвостовики нескольких типов (ГОСТ 4044—70): круглые с поперечным пазом (рис. 2.22, а) диаметром $d_1=5...11$ мм (с отклонением по $d8$), с плоской опорной поверхностью и круглой выточкой (рис. 2.22, б) диаметром $d_1=4...18$ мм и с круглой выточкой (рис. 2.22, в—д) диаметром $d_1=12...100$ мм в четырех исполнениях (с отклонением по $d8$ по диаметру d_1 и $d11$ по диаметру d'_1).

Передняя направляющая (длина l_4) служит для центрирования оси заготовки относительно оси протяжки перед протягиванием. В сечении, перпендикулярном к оси протяжки, форма поперечного сечения и размеры передней направляющей соответствуют форме и размерам обрабаты-
ваемого отверстия заготовки с отклонением

по посадке $e8$. Длина l_4 передней направляющей равна длине обрабатываемой поверхности заготовки, при большой длине последней l_4 уменьшается до 0,6 длины обрабатываемой поверхности.

Расстояние l' от переднего торца протяжки до первого зуба должно обеспечить возможность установки протяжки на станке,

$$l' = l_{\text{ст}} + l_{\text{заг}} + l_1,$$

где $l_{\text{ст}}$ — расстояние от опорного торца фланца, установленного на планшайбу станка, до переднего торца патрона станка; $l_{\text{заг}}$ — длина заготовки (см. рис. 2.19, а),

Наличие переходного направляющего конуса (длина l_3) облегчает установку заготовки на протяжке, обычно $l_3=20$ мм.

Хвостовик соединен с направляющим конусом цилиндрической шейкой (длина l_2), диаметр шейки на 1 мм меньше диаметра хвостовика, $l_2 = l_{\text{ст}} - l_3 + (2...5)$ мм.

Задняя направляющая часть (длина l_9) служит для центрирования протяжки относительно обработанной поверхности заготовки при прохождении через нее калибрующих зубьев по окончании процесса обработки. Форма ее поперечного сечения соответствует форме режущих кромок калибрующих зубьев. Длина l_9 равна длине передней направляющей части ($l_9 = l_4$), а диаметр d_9 принимают равным диаметру калибрующих зубьев с допуском ± 7 .

У протяжек, работающих на станках с автоматическим возвратом в рабочее (верхнее) положение (обычно это станки вертикального типа), за задней направляющей частью расположен задний хвостовик под быстросменный патрон. Его форма аналогична форме переднего хвостовика (см. рис. 2.21, б), а размеры могут быть равны или на одну-две позиции размерного ряда меньше размеров переднего хвостовика.

Протяжка, закрепленная при работе только передним хвостовиком в патроне станка горизонтального типа, может провиснуть при обработке отверстия, что приведет к увеличению толщины слоя, сни-

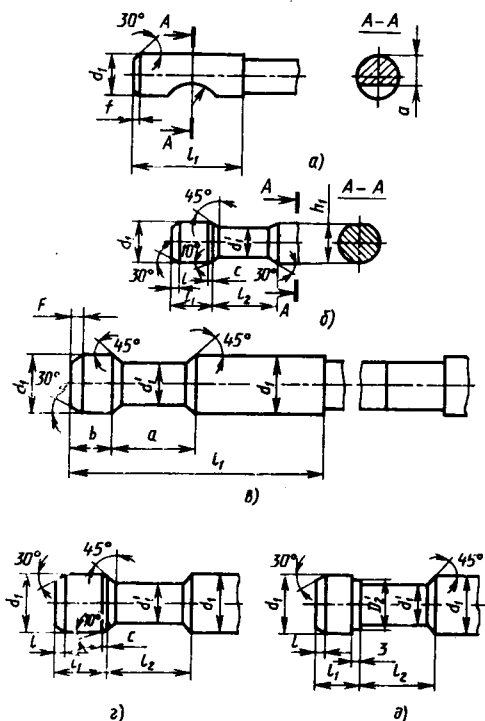


Рис. 2.22. Хвостовики протяжек

маемого с нижней поверхности отверстия заготовки, и искажению ее формы и размеров. Для предотвращения этого у протяжек больших размеров (если нет заднего хвостовика) делают цапфу. При обработке ее закрепляют в подвижное поддерживающее устройство станка, которое предохраняет протяжку от провисания.

Рассмотренные части протяжки в работе резания не участвуют и служат для крепления, центрирования и передачи сил резания. Срезание материала и образование обработанной поверхности заготовки производится лезвиями зубьев режущей рабочей части протяжки.

На рабочей части протяжки (длина l_5) расположены черновые, чистовые и калибрующие зубья. Чистовые зубья имеют меньший подъем зуба, чем режущие. Режущие зубья предназначены для снятия основного припуска с обрабатываемой поверхности заготовки. Форма режущих зубьев в сечении, проходящем через ось протяжки, приведена на рис. 2.23, а—д. Режущие кромки обычно расположены в плоскости, перпендикулярной к оси, расстояние между лезвиями режущих зубьев, т. е. шаг p , является одним из основных размеров, определяющих конструктивные элементы, конструкцию протяжки и ее работоспособность.

Между зубьями расположены стружечные канавки. Форму и размеры зуба и стружечной канавки устанавливают исходя из условий возможности резания и образования стружки, размещения стружки в канавке и прочности зуба. Они зависят от шага зубьев, высоты h_k стружечной канавки, ширины b спинки (задней поверхности) зуба, переднего γ и заднего α углов; основание канавки делают в форме дуги радиусом r_k . Передний угол γ должен обеспечить хорошие условия резания и стружкообразования, при обработке заготовки из стали $\gamma = 10 \dots 20^\circ$, из чугуна $\gamma = 5 \dots 8^\circ$; ширина b зуба увеличивается от вершины к основанию. У внутренних протяжек угол α небольшой ($2 \dots 3^\circ$). Это необходимо для небольшого изменения положения режущих кромок при переточках протяжек (переточка производится по передней

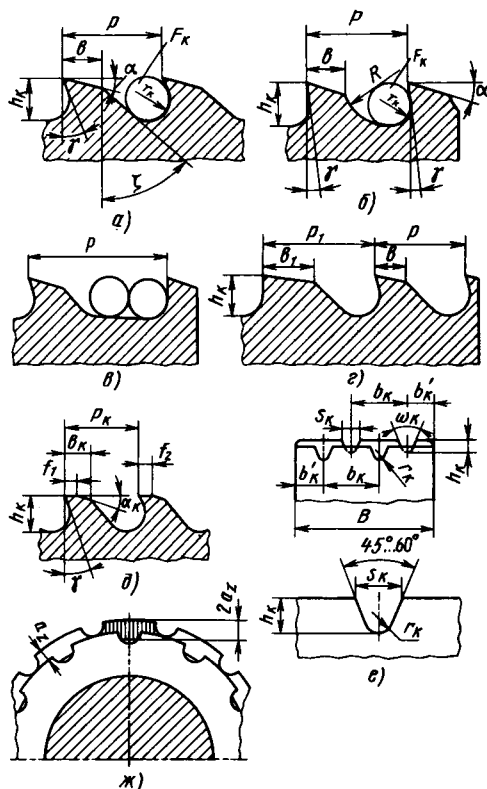


Рис. 2.23. Зубья и стружечные канавки протяжек (а—д), стружкоразделительные канавки (е, ж)

поверхности): у наружных протяжек $\alpha = 10^\circ$. Прочность зубьев должна быть достаточной не только у новой, но и у переточенной протяжки в конце эксплуатации. Спинку делают или прямолинейной под углом ζ до $35 \dots 45^\circ$ к перпендикуляру к оси протяжки (см. рис. 2.23, а) или по форме балки равного сопротивления круговой вогнутой формы с радиусом $R_k = 1,6h_k$ (см. рис. 2.23, б) для увеличения пространства для размещения стружки.

В некоторых случаях канавки делают удлиненной формы (см. рис. 2.23, в), например при обработке отверстий, прерывистых по длине, или при необходимости увеличения шага зубьев протяжки для уменьшения силы резания и сохранения размера тела протяжки и увеличения диаметра опасного сечения. При

протягивании отверстий, прерывистых по длине, на каждом участке обработанной поверхности образуется свой завиток стружки, который необходимо раздельно разместить в канавке. Размеры канавки определяют при расчете протяжки. Глубина канавок влияет на поперечное сечение тела протяжки, которое определяет прочность протяжки.

Режущие кромки зубьев обычно располагают в плоскости, перпендикулярной к направлению главного движения D_r ($\lambda = 0$). Но иногда изготавливают протяжки с наклонным расположением режущих кромок и канавок: у внутренних протяжек это обеспечивается винтовой формой стружечных канавок, у наружных — наклонным положением зубьев. Наклонное положение режущих кромок изменяет направление схода стружки, способствует ее отводу по длине канавки, изменяет направление действия сил резания и вызывает дополнительное деформирование зубьев и тела протяжки.

Схема резания и форма режущих кромок. Большое значение при проектировании протяжки имеет схема резания, т. е. последовательность удаления срезаемого слоя, и схема формообразования поверхности.

Схему резания и форму режущих кромок устанавливают в зависимости от назначения протяжки, требуемого профиля заготовки. Используют все виды схем резания. Схему резания выбирают с учетом получения оптимальной конструкции протяжки, наименьшей ее длины, более полного использования тяговой силы двигателя станка, обеспечения прочности протяжки, ее работоспособности и стойкости, а также величины подъема зубьев, определяющей толщину a_z срезаемого слоя лезвием протяжки ($a_z = C_z$) и пр. Целесообразность принятой схемы резания должна быть подтверждена соответствующим анализом. Применяемые схемы резания и их влияние на конструктивное оформление зубьев (их режущих кромок) рассмотрены ниже для конкретных видов протяжек.

На режущих кромках большой ширины (больше 6—8 мм) для лучших условий стружкоформирования делают стружко-

разделительные канавки s_k (рис. 2.23, *е, ж*). Наибольшее изнашивание зубьев при работе протяжки получается по боковым сторонам стружкоразделительных канавок, у их наружной границы в месте сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок. Для уменьшения изнашивания на вспомогательных режущих кромках канавок должны быть созданы достаточные задние углы, а для этого внутренний угол канавок принимают обычно равным 60—45°. Стружкоразделительные канавки делают на зубьях в шахматном порядке и на срезаемых стружках образуются выступы (ребра жесткости), затрудняющие естественное завивание стружки в спираль. Повышенный износ лезвий по уголкам канавок и ухудшение стружкоформирования являются большим недостатком такой конструкции протяжки. Поэтому более целесообразны протяжки с групповой схемой резания (переменного резания), например круглые протяжки с выкружками на зубьях.

Расчет протяжек. Режущую часть протяжки рассчитывают с учетом силовых факторов процесса обработки (прочности), возможностей размещения стружки в канавке и использования протяжки на имеющемся станке. Конструкция протяжки должна обеспечить требуемые размеры и качество обработанной поверхности детали, иметь минимальную длину для сокращения машинного времени обработки заготовки, уменьшения расхода материала и трудоемкости ее изготовления.

При расчете протяжек определяют: 1) размеры конструктивных элементов режущей части, исходя из прочности тела протяжки, силы протягивания и соответствия этой силы тяговой силе двигателя станка, удовлетворения условий формирования и размещения стружки в стружечных канавках, из наименьшей длины протяжки и соответствия этой длины длине хода ползуна протяжного станка, возможности изготовления протяжки; 2) исполнительные размеры калибрующих зубьев, обеспечивающие требуемые параметры обработанных поверхностей.

Расчет и конструктивные элементы протяжки взаимосвязаны и взаимозависимы. Это многовариантная задача, решать ко-

торую нужно с точки зрения обеспечения условий оптимизации конструкции.

Для проектирования (расчета и конструирования протяжек) необходимы следующие исходные данные: 1) о детали: форма и размеры (с указанием точности, допусков) обработанной поверхности, материал; форма и размеры поверхностей, подлежащих обработке, их длина; общая форма и размеры заготовки; 2) об оборудовании: характеристика станка (сила тяги), длина хода ползуна, расстояние от патрона до опорной поверхности станка, рабочая скорость ползуна станка и пр.; оборудование может быть выбрано и по результатам расчета протяжки.

Предварительно шаг зубьев протяжки

$$p = Q\sqrt{l_{\text{зар}}} \quad (2.10)$$

При одинарной схеме резания $Q = 1,25 \dots 1,5$, при групповой схеме $Q = 1,45 \dots 1,9$. Величину шага корректируют при дальнейшем расчете.

Число одновременно участвующих в резании зубьев

$$z_i = l_{\text{зар}}/p. \quad (2.11)$$

В общем случае z_i получается дробным. В процессе рабочего хода протяжки z_i изменяется: при выходе одного зуба из контакта с заготовкой z_i уменьшается до меньшего целого числа и при входе следующего зуба в заготовку z_i увеличивается до большего целого числа. Расчет протяжки следует вести по максимальной силе, т. е. учитывать наибольшее целое число z_i . Для более равномерной и полной загрузки протяжки и протяжного станка z_i должно быть возможно ближе к большему целому числу, но не равно ему, поэтому уточняют шаг

$$p = l_{\text{зар}}/(z_i + 0,1). \quad (2.12)$$

Полученное значение p согласовывают с установленным нормализованным рядом для шагов (ГОСТ 20364—74): 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32 мм. Во избежание возможности появления вибраций при работе протяжки шаг зубьев рекомендуется делать неравномерным с отклонением $\pm 0,5$ мм.

При расчете канавки предварительно устанавливают $h_k = (0,35 \dots 0,4)p$, $b = (0,3 \dots 0,35)p$, $r_k = (0,5 \dots 0,55)h_k$, $R_n = (0,65 \dots 0,8)p$; эти размеры уточняют при дальнейшем расчете. Форма и размеры канавки должны обеспечить размещение в ней стружки, срезаемой за один рабочий ход зуба. Расчет ведут в сечении, перпендикулярном к режущей кромке. Срезанная стружка размещается в канавке с зазорами, поэтому площадь канавки должна в k раз превышать площадь слоя, срезаемого зубом. Площадь срезаемого слоя $F_{\text{с.с}} = a_z l_{\text{зар}}$, активная площадь канавки $F_k = 0,25\pi h_k^2$.

$$\text{Коэффициент } k = \frac{F_k}{F_{\text{с.с}}} = \frac{0,25\pi h_k^2}{a_z l_{\text{зар}}} \quad (2.13)$$

Значение k зависит от материала заготовки, толщины срезаемого слоя; при обработке заготовки из стали $k = 3 \dots 4$, из чугуна $k = 2,5$.

Допустимая толщина срезаемого слоя, исходя из размеров стружечной канавки,

$$a_z = \frac{0,25\pi h_k^2}{k l_{\text{зар}}} \quad (2.14)$$

Толщина a_z срезаемого слоя, равная подъему на зуб C_z , ограничена условиями резания и стружкоформирования и корректируется по рассмотренным ниже расчетным зависимостям. Наибольшая толщина срезаемого слоя приведена в табл. 2.1.

2.1. Предельная толщина слоя, срезаемого зубьями протяжки при обработке заготовок из стали

Размеры в мм

Ширина срезаемого слоя	Предельная толщина срезаемого слоя при высоте h_k стружечной канавки				
	3	4	5	6	7
3	0,15	0,20	0,25	0,3	0,4
До 1,2 $\sqrt{d}$	0,10	0,15	0,20	0,3	0,3
До 1,5 $\sqrt{d}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25

Сила резания при протягивании, H ,

$$P = C_p a_z^2 \Sigma B z_i K_r K_{\text{см}} K_n, \quad (2.15)$$

где C_p — коэффициент, учитывающий материал заготовки и форму режущей кромки; при обработке заготовки из углеро-

дистой конструкционной стали с $\sigma_b = 700 \dots 800$ МПа для круглой протяжки $C_p = 2430$, для шлицевой $C_p = 2300$ и шпоночной $C_p = 2020$; x — показатель степени, $x = 0,85$; ΣB — суммарная длина режущих кромок одного зуба; для круглых протяжек $\Sigma B = \pi d$, для шлицевых $\Sigma B = nB$; K_γ , K_{cm} , K_n — коэффициенты, учитывающие влияние на силу резания соответственно значений переднего угла, смазывающе-охлаждающей жидкости, износа зубьев протяжки; при обработке заготовки из стали $K_\gamma = 1,13; 1,0; 0,93; 0,85$ соответственно при $\gamma = 5, 10, 15$ и 20° ; $K_n = 1 \dots 1,5$ соответственно для острых и затупленных зубьев, $K_{cm} = 0,9; 1; 1,34$ соответственно при применении в качестве СОЖ растительного масла, сульфифрезолы или эмульсии и при отсутствии СОЖ.

Кроме того, сила резания при протягивании зависит от кривизны режущей кромки, значений заднего угла, способа деления стружки по ширине, числа стружкоразделительных канавок, скорости резания, состояния материала заготовки и др. Влияние этих факторов менее значительно и рассмотрено в [7, 32].

Напряжения, возникающие в теле протяжки, определяют в опасных сечениях, т. е. в сечениях с минимальной площадью, перпендикулярных к оси. Обычно это сечения по впадине первого зуба, по меньшему диаметру сечения хвостовика и у сборных протяжек с резьбовым креплением по внутреннему диаметру резьбы соединительной части. Рабочую часть протяжки и хвостовик изготавливают из разных материалов, с разными механическими свойствами, поэтому необходимо определить возникающие напряжения во всех опасных сечениях.

Площадь опасного сечения по впадине первого зуба

$$F_{oc1} = 0,25\pi(d_1 - 2h_k)^2, \quad (2.16)$$

где d_1 — диаметр первого зуба протяжки.

Так как силы резания симметричны относительно оси протяжки, учитывают только растягивающие напряжения

$$\sigma_p = P/F_{oc}. \quad (2.17)$$

Возможная асимметричность сил резания, которая может возникнуть от разли-

чия в степени затупления отдельных участков режущих кромок, местного различия в свойствах материала заготовки и др., вызовет появление напряжений изгиба. Последние специально не учитывают, но допускаемые напряжения $[\sigma_p]$ принимают с большим запасом; для протяжек из быстрорежущей стали $[\sigma_p] = 350 \dots 400$ МПа, из легированных и углеродистых сталей $[\sigma_p] = 250$ МПа. Причем необходимо, чтобы $\sigma_p \leq [\sigma_p]$.

При неудовлетворении этого неравенства следует соответственно изменить конструктивные параметры протяжки: изменить схему резания или увеличить шаг зубьев или уменьшить толщину срезаемых слоев и др. Для наиболее полного использования тела протяжки и оптимальности ее конструкции желательно минимальное отличие σ_p от $[\sigma_p]$.

Длина режущей части протяжки

$$l_6 = z_p p, \quad (2.18)$$

где z_p — число режущих зубьев, которое определяется отношением припуска δ_d на диаметр к удвоенной величине толщины срезаемого слоя a_z ; $z_p = \delta_d/(2a_z)$.

В конце режущей части делают два-три переходных и чистовых зуба, с уменьшенным подъемом для уменьшения шероховатости поверхности протянутого отверстия, и в этом случае

$$l_6 + l_7 = [z_p + (2 \dots 3)] p.$$

На калибрующей части обычно $z_k = 4 \dots 5$ зубьев, с шагом $p_k = 0,6p$ или $p_k = p$, где p — шаг режущих зубьев.

Длина рабочей части протяжки

$$l_5 = l_6 + l_7 + l_8 = [z_p + (2 \dots 3)] p + z_k p_k,$$

и общая длина протяжки

$$L = l' + l_5 + l_9 + l_{10}. \quad (2.19)$$

Общая длина протяжки должна быть согласована с длиной хода $L_{ст}$ ползуна протяжного станка $L - l_1 < L_{ст}$ и удовлетворять технологическим условиям возможности ее изготовления; обычно для протяжек средних размеров $L \leq 40d$.

Если длина протяжки получается большей, то ее рабочую часть делят на несколько протяжек. Такие протяжки называют комплектными. Обычно комплект сос-

тоит из двух — четырех протяжек, но иногда до 10 и более. В каждой протяжке комплекта делают рабочую и калибрующую части, хвостовики, переднее и заднее направление, т. е. полное конструктивное оформление. Первый режущий зуб последующей протяжки комплекта должен иметь рабочие размеры, равные или немного меньше (на 0,01—0,02 мм), чем размеры калибрующего зуба предыдущей протяжки комплекта.

Расчет протяжек, как и других режущих инструментов, является многовариантной задачей. Оптимальный вариант конструкции определяют по различным критериям с учетом конструктивных параметров и условий эксплуатации, требуемого качества получаемых поверхностей, обеспечения технико-экономической эффективности процесса обработки. Необходимо найти такое сочетание параметров конструкции и процесса обработки, которое бы не противоречило установленным для них ограничениям и обеспечивало минимальные затраты на обработку заготовки [32, 37]. Для определения оптимальной конструкции, удовлетворяющей наибольшему числу выбранных критериев, следует использовать методы САПР и применять ЭВМ. Общая задача распадается на несколько подзадач. Одна из основных — определение шага и высоты стружечной канавки; укрупненный алгоритм расчета протяжки для круглого отверстия приведен на рис. 2.24.

Исходными являются формы и размеры требуемого отверстия, его длина, материал заготовки и размер предварительного отверстия под обработку, сила тяги $P_{ст}$ двигателя станка, материал протяжки и допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma_p]$. Искомыми являются шаг зубьев p , высота канавки h_k , напряжение $\sigma_{ос}$ в опасных сечениях тела протяжки и сила протягивания P . Ограничивающими условиями являются наибольшая и наименьшая толщина срезаемого слоя $a_z = 0,02 \dots 0,12$ мм, число одновременно режущих зубьев $z_i = 3 \dots 6$, сила протягивания P , не превышающая тяговую силу $P_{ст}$ (обычно учитывают 0,8—0,9 $P_{ст}$, указанной в паспорте станка), напряжение в опасном сечении тела протяжки $\sigma_{ос}$,

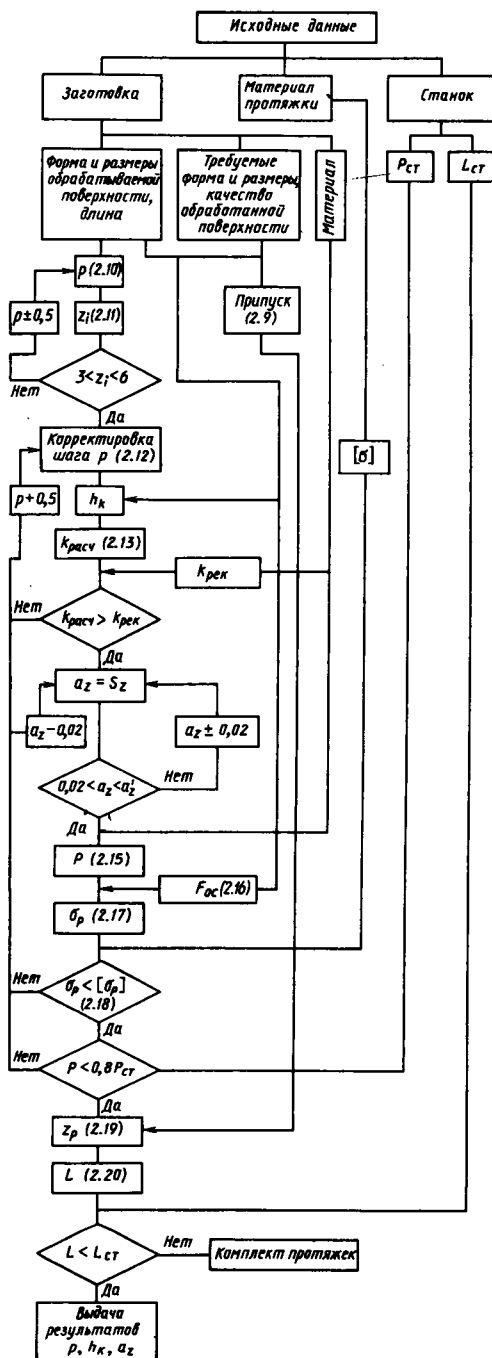


Рис. 2.24. Алгоритм определения шага и высоты стружечной канавки протяжки

условия формирования и отвода стружки (коэффициент k).

Если не удовлетворяются эти условия, то следует провести новый вариант расчета с изменением промежуточных расчетных величин: при $P > P_{ст}$ изменить a_z , ρ и, следовательно, z_i ; при $\sigma_p > [\sigma_p]$ уменьшить P или увеличить площадь опасного сечения, для чего следует уменьшить высоту h_k канавки, но обеспечивая требуемые условия формирования и отвода стружки — коэффициента k . При этом приходится учитывать предельные рекомендуемые в литературе или проверенные в процессе эксплуатации границы изменения параметров.

Калибрующая часть протяжки предназначена для окончательного оформления обработанной поверхности заготовки. Оно осуществляется режущими кромками первых двух зубьев; другие калибрующие зубья необходимы для направления протяжки по обработанной поверхности при завершении процесса обработки, а также для увеличения срока службы протяжки и перехода при переточках калибрующих зубьев в режущие. Режущие кромки всех калибрующих зубьев делают одинакового размера, равного размерам последнего режущего зуба.

Форму и размеры калибрующих зубьев и стружечных канавок устанавливают в зависимости от их шага $p_k = (0,6 \dots 1,0)p$, по тем же зависимостям, что и для режущих зубьев.

Передние углы калибрующих зубьев равны передним углам режущих зубьев; задние углы $\alpha_k = 1^\circ$. По задней поверхности всех калибрующих зубьев оставляют цилиндрическую ленточку, ширина которой увеличивается по длине протяжки от зуба к зубу на 0,2 мм (от 0,2 до 0,6 мм). Этим обеспечивается возможность перехода калибрующих зубьев в режущие при переточке протяжки.

При назначении исполнительных размеров калибрующих зубьев следует учитывать, что размеры обработанных поверхностей детали могут получиться отличными от размеров калибрующих зубьев в зависимости от материала и размеров заготовки, конструкции протяжки и технологических параметров процесса обработ-

ки. Они могут получиться больше соответствующих размеров калибрующих зубьев. Это явление называют разбивкой. Но они могут быть и меньше, т. е. происходит усадка, которая получается при обработке заготовок с малой толщиной стенок (тонкостенных), и вследствие некоторых других причин.

Общая схема назначения исполнительных размеров калибрующих зубьев протяжки соответствует приведенной выше. Исполнительные размеры калибрующих зубьев протяжки определяют по требуемым размерам обработанных поверхностей детали с учетом допуска на их изготовление. При разбивке протяжкой отверстия допуск на размер обработанной поверхности делится в общем случае на три неравные части: допуск на разбивку $\Delta A_{раз}$, допуск на изготовление протяжки $\Delta A_{изг}$ и допуск на износ ее зубьев $\Delta A_{изн}$ при эксплуатации (см. рис. 1.15). При усадке допуск на изготовление протяжки может выходить за пределы наибольшего требуемого диаметра (размера) обработанной поверхности заготовки (см. рис. 1.15, б).

Величины разбивки или усадки определяют по справочникам [32, 37, 44, 45 и др.] или на основании опытных данных, допуск на изготовление — в соответствии с технологическими возможностями обработки протяжек; допуск на износ принимают по возможности наибольшим.

Протяжки изготавливают из быстрорежущих сталей P6M5, P18 и др. и из легированных сталей ХВГ, а также с режущей частью, оснащенной твердым сплавом. Твердость зубьев и задней направляющей протяжки из быстрорежущей стали 63...66 HRC₂, зубьев из стали ХВГ — 62...65 HRC₂, замковой части переднего хвостовика сварных протяжек 43,5...51,5 HRC₂.

Основные виды протяжек стандартизованы: конструкция и размеры ГОСТ 20364—74, ГОСТ 20365—74 (круглые), ГОСТ 24818—81, ГОСТ 24819—81 и др. (для шлицевых отверстий), ГОСТ 18217—80, 18218—80 и др. (шпоночные), ГОСТ 26478—85, ГОСТ 26479—85 (для квадратных отверстий); технические условия ГОСТ 9126—76, ГОСТ 7943—78 и др.

Особенности конструкций протяжек. Рассмотрим отличие и конкретизацию приведенных выше обобщенных положений конструирования и расчета протяжек для отдельных их видов. Протяжки для круглых отверстий могут быть спроектированы с использованием всех трех схем резания: профильной (одинарного резания), группой (переменного резания) и генераторной.

При профильной схеме резания режущие кромки всех зубьев имеют одинаковую круглую форму. Стружкоразделительные канавки делают в шахматном порядке на всех рабочих зубьях. Без таких канавок, разделяющих режущие кромки на отдельные участки, стружка будет образовываться сплошным валиком

(в виде тора), который трудно удалить из стружечной канавки. Конструкция протяжки приведена на рис. 2.21.

У протяжек с групповой схемой резания (схемой переменного резания) рабочая часть состоит из отдельных секций (рис. 2.25, а). Материал на определенную глубину срезается группой (секцией) зубьев одного размера (диаметра), но с различным расположением по окружности рабочих участков режущих кромок (рис. 2.25, б). Подъем между зубьями секций осуществляется по длине периметра обрабатываемой поверхности. Каждый зуб срезает материал на полную глубину (толщину) слоя, предназначенного для срезания этой секцией, и ширину, определяемую шириной рабочих участков

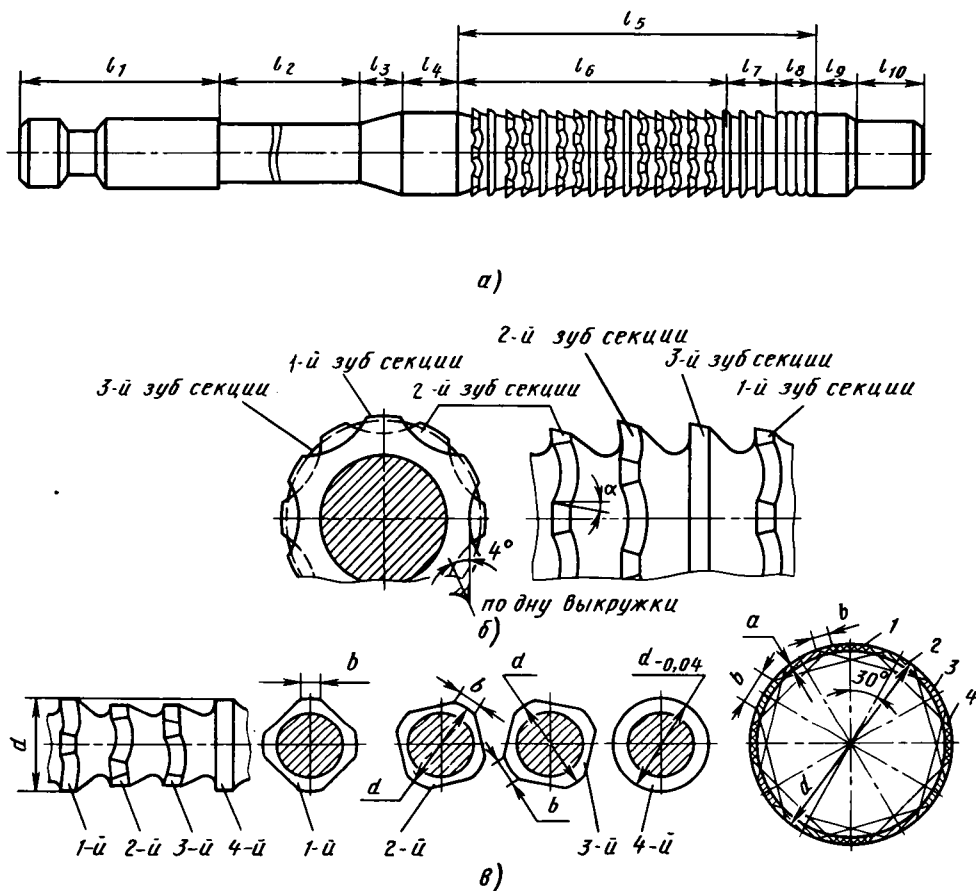


Рис. 2.25. Протяжка круглая с групповой (а и б) и генераторной (в) схемами резания

режущих кромок. Режущая кромка последнего зуба секции имеет форму полной окружности, но делается на 0,01—0,02 мм меньше рабочего диаметра остальных зубьев секции. Этим обеспечивается удаление всего слоя, предназначенного для обработки данной группой зубьев, и предохраняет последний зуб секции от чрезмерных перегрузок, которые могут возникнуть, если размер этого зуба больше размеров других зубьев секции, даже в пределах допуска на их изготовление.

Для создания на зубьях отдельных режущих участков их лезвия срезают по дуге окружности (делают так называемые выкружки) или по плоскости (при малых диаметрах зубьев) (рис. 2.25, б) или применяют иные способы. Эти срезы делят стружку на отдельные элементы, и на них уже не требуется создавать стружкоразделительных канавок. На срезанных участках образуются вспомогательные режущие кромки, на которых могут быть созданы достаточные задние углы.

Толщина слоя, срезаемого каждым зубом секции, при сохранении той же силы протягивания, может быть увеличена по сравнению с толщиной, срезаемой при профильной схеме резания. Это увеличение пропорционально увеличению числа зубьев секции. С увеличением толщины срезаемого слоя ее влияние на изменения силы резания P на единицу длины режущей кромки уменьшается, так как a_z^2 , входящая в формулу для определения P , возрастает менее интенсивно, чем изменяется сама величина a_z . Это позволяет сократить число режущих зубьев, длину рабочей части и всю длину протяжки.

Силу протягивания определяют по формуле (2.15), но с учетом увеличенной толщины слоя, срезаемого зубьями секции и соответствующего уменьшения периметра резания каждым зубом; обычно в секции два-три зуба, иногда больше.

В остальном конструкция протяжек с групповой схемой резания аналогична ранее рассмотренной конструкции протяжек с профильной (одинарной) схемой резания [32]. Протяжки этого вида стандартизованы (ГОСТ 20 364—74 и ГОСТ 20 365—74).

Генераторная схема резания при протягивании круглого отверстия приведена на рис. 2.25, в. Вначале на протяжке делают зубья многогранной формы, образующие многогранное отверстие с наружным диаметром, равным требуемому диаметру отверстия в заготовке. На последующих зубьях режущие кромки имеют ту же форму многогранника, но с поворотом его граней относительно оси до снятия всего припуска по окружности отверстия.

Для улучшения параметров шероховатости поверхности за режущими многогранными зубьями делают зубья с круглой формой режущей кромки, снимающие выступы, получающиеся от первых групп зубьев. Подобная конструкция рекомендуется для обработки отверстий заготовок с повышенной твердостью поверхностного слоя, например отверстий в литых заготовках.

Шлицевые протяжки (рис. 2.26, а) предназначены для обработки шлицевых отверстий. В зависимости от требований к точности выполнения отдельных элементов отверстий и их формы протяжки проектируют с различными схемами резания. Конструкция и основные конструктивные элементы аналогичны рассмотренным выше круглым протяжкам. Отличными являются рабочая часть, передние и задние направляющие части. Шлицевые канавки (рис. 2.26, б) в отверстии образуют зубья протяжки, имеющие соответствующую форму режущих кромок. Боковые стороны шлицевых канавок образуются при генераторной схеме резания. Подъем на зуб осуществляют в направлении, параллельном образуемой поверхности — боковой стороне шлица (рис. 2.26, б). Это обеспечивается увеличением диаметра режущих зубьев. Поперечное сечение протяжки приведено на рис. 2.26, в. Для уменьшения трения на боковых сторонах делают вспомогательный угол в плане φ_1 (рис. 2.26, г), оставляя при этом по ширине шлица на вспомогательной режущей кромке угол $\varphi_1 = 0$ на высоте до 1 мм. Калибрующую часть и заднюю направляющую протяжки делают в соответствии с формой шлицевого отверстия. Допустимые отклонения

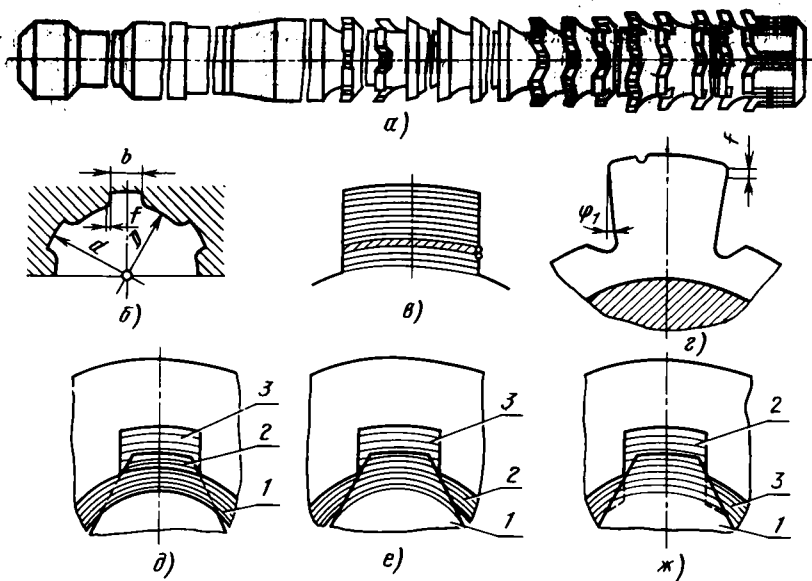


Рис. 2.26. Шлицевая протяжка:

а — чертеж; *б* — обработанное отверстие; *в* — схема образования шлицевых канавок; *г* — схема образования боковых сторон зубьев протяжки; *д*—*ж* — схемы обработки комбинированной протяжки: 1—3 — последовательность обработки

должны соответствовать ГОСТ 7943—78.

При проектировании протяжек для шлицевых отверстий с центрированием по внутреннему диаметру перед шлицевой частью делают зубья, обрабатывающие круглое отверстие (рис. 2.26, *д*), или окончательную круглую часть протяжки для обработки посадочной части отверстия делают после фасочных (для снятия фаски на боковых сторонах шлица у внутренней окружности отверстия) и шлицевых зубьев (для обработки шлица) (рис. 2.21, *е*, *ж*). Цифрами 1, 2, 3 показана последовательность удаления припуска. В последнем случае сила протягивания при обработке внутреннего отверстия заготовки получается меньше.

Протяжки для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем имеют аналогичную конструкцию, но профиль режущих кромок делают не прямой, а эвольвентной формы в соответствии с требуемой формой шлиц отверстия.

Протяжки для обработки многогранных отверстий (квадратных, шестигранных и др.) могут быть спроектированы по различным схемам резания. Рассмотрим протяжку для обработки квадратного отвер-

стия. Исходное отверстие заготовки круглое. Могут быть использованы профильная или генераторная схемы резания и формообразования обработанной поверхности. При профильной схеме резания (рис. 2.27, *а*) все зубья имеют одинаковую квадратную форму последовательно увеличивающихся размеров. Первые зубья начинают обработку углом пересечения боковых режущих кромок. Площадь сечения среза вначале небольшая, а затем увеличивается. Сила резания вначале малая, а затем постепенно увеличивается соответственно увеличению рабочей длины режущих зубьев и сечения срезаемых слоев. Процесс схода стружки от боковых режущих кромок не свободный, относительное базирование заготовки и протяжки вначале плохое, но улучшающееся в процессе обработки.

При генераторной схеме резания (рис. 2.27, *б*), первые зубья имеют круглую форму. У всех зубьев режущие кромки круговой формы, диаметр которых увеличивается по длине протяжки. Для образования квадратного отверстия зубья срезаются по противоположным сторонам. Снятие стружки осуществляется круговыми

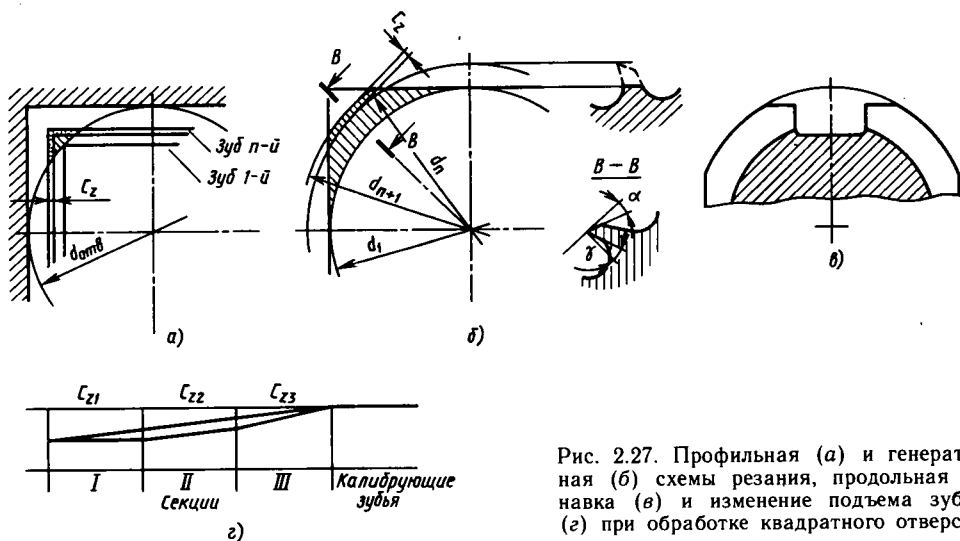


Рис. 2.27. Профильная (а) и генераторная (б) схемы резания, продольная канавка (в) и изменение подъема зубьев (г) при обработке квадратного отверстия

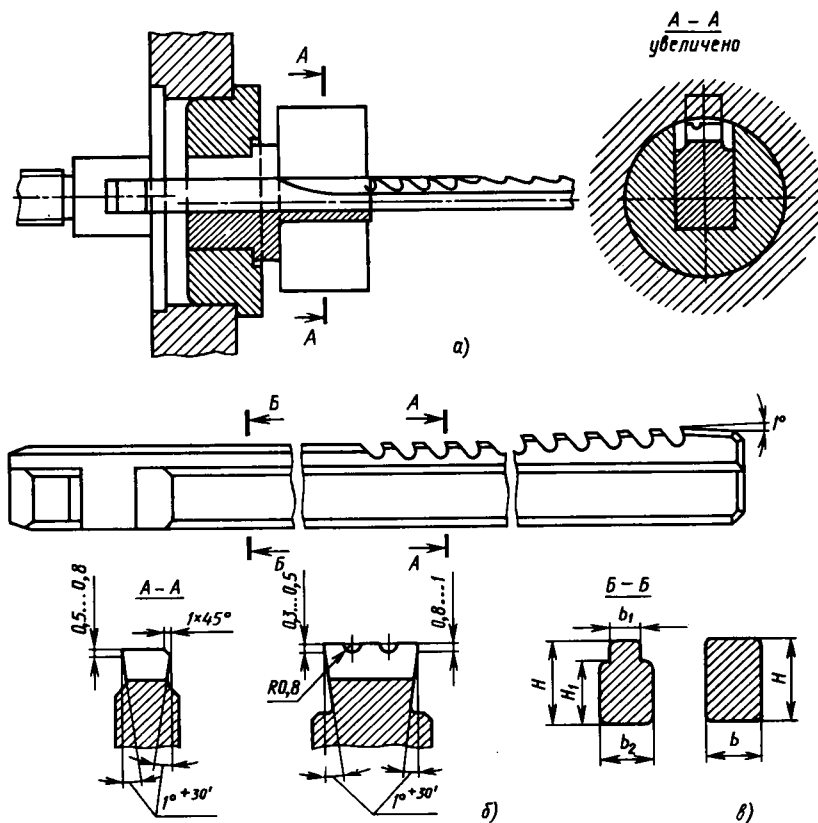


Рис. 2.28. Шпоночная протяжка:

а — установка на станке; б — конструкция протяжки; в — хвостовики плоско-ступенчатый и плоский

участками режущей кромки. Ширина этих рабочих участков у первых зубьев наибольшая, затем она уменьшается по длине протяжки. Это обеспечивает более свободное образование стружки, срезаемой режущими кромками. Условия центрирования протяжки по отверстию заготовки более благоприятные, сила резания постепенно уменьшается.

Протяжки, спроектированные по генераторной схеме резания, более технологичны в изготовлении и переточке. Их недостатком является худшая шероховатость образованной поверхности. Для уменьшения трения между стороной квадрата протяжки и образованной поверхностью заготовки по середине зубьев квадратной формы (рис. 2.27, в) делают общую канавку вдоль всей длины рабочей части протяжки или на каждом зубе.

В связи с уменьшением по длине протяжки ширины работающих режущих кромок соответственно уменьшается и сила резания. Для ее выравнивания и уменьшения длины протяжки подъем C_z (увеличение диаметральных размеров зубьев) делается переменным, увеличивающимся по длине протяжки. Для упрощения процесса обработки диаметральные размеры зубьев изменяют ступенчато, но одинаково на отдельных участках протяжки (рис. 2.27, г).

Подобные схемы и конструкции могут быть применены и у протяжек для других видов многогранных отверстий (ГОСТ 26478—85 и др.).

Шпоночные протяжки применяют для изготовления шпоночных канавок в отверстиях заготовок (рис. 2.28). По своей конструкции они имеют те же части по длине, что и внутренние протяжки, но приложение силы резания у них одностороннее, что вызывает дополнительное деформирование от изгиба протяжки. Последнее учитывается не особым расчетом, а уменьшением допускаемых напряжений на разрыв, принимают $[\sigma_p] = 200$ МПа; с учетом этого определяют высоту и размеры поперечного сечения тела протяжки. Для шпоночных протяжек принята генераторная схема резания, аналогичная описанной выше для шлицевых протяжек. Тело протяжки делают плоской формы, а при малой

ширине рабочей части (ширине шпоночной канавки от 2 до 10 мм) плоско-ступенчатой формы. Размеры хвостовиков (рис. 2.28, б, в) должны соответствовать ГОСТ 4043—70. Обработка протяжкой осуществляется при установке заготовки на специальную втулку, закрепленную на торцовую планшайбу станка и имеющую продольный паз для направления протяжки (рис. 2.28, а).

Улучшение конструкций внутренних протяжек для обработки внутренних поверхностей. В основном работы направлены на экономию инструментальных материалов, применение новых режущих материалов (например, твердых сплавов), повышение точности и качества получаемых поверхностей, повышение долговечности работы протяжек и упрощение их изготовления. Созданы протяжки составных и сборных конструкций. Их делают с хвостовиком из конструкционной стали (сталь 40Х, 45), приваренным к рабочей части, и сборными с механическим креплением хвостовика (рис. 2.29). В резьбовом соединении для повышения точности центрирования хвостовика и рабочей части делают центрирующий пояс с точным выполнением баз.

Сборные протяжки делают с рабочей частью из отдельных колец или втулок из быстрорежущей стали или твердых сплавов, устанавливаемых на корпусе про-

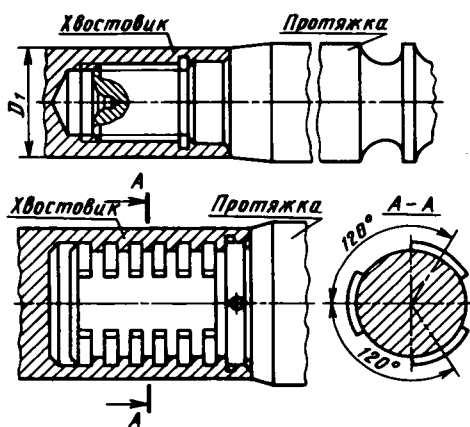


Рис. 2.29. Хвостовики сборных протяжек

тяжки. При этой конструкции у протяжек для шлицевых и гранных отверстий необходимо обеспечить идентичность положения режущих кромок отдельных колец по длине протяжки. Шлицевые и шпоночные протяжки (рис. 2.30, а) изготавливают с многогранными пластинами из твердого сплава квадратной формы, расположенными по передней (рис. 2.30, б) или задней (рис. 2.30, в) поверхности зубьев. Пластины припаивают, приклеивают; при расположении пластин по задней поверхности их могут закреплять винтами. Этот же способ может быть применен и у протяжек с групповой схемой резания. На рис. 2.30, г приведено в качестве примера кольцо такой протяжки.

Применяют сборные конструкции протяжек со сменными кольцами или втулками

только на калибрующей части. При потере точности (износе) заменяют только кольца калибрующих зубьев, возобновляя точность и работоспособность протяжки. Кольца могут быть изготовлены с припаянными или механически закрепленными пластинами твердого сплава. Иногда для протяжек малых диаметров кольца изготавливают целиком из твердого сплава.

Для восстановления диаметра калибрующих зубьев протяжки втулку делают с продольным наклонным пазом, устанавливая ее на конусный конец хвостовика тела протяжки (рис. 2.30, д). Натягом гайки регулируют диаметральный размер втулки. Крепление секций шлицевой протяжки показано на рис. 2.30, е.

Для повышения качества обработанной поверхности на протяжках за зубьями калибрующей части делают уплотняющие

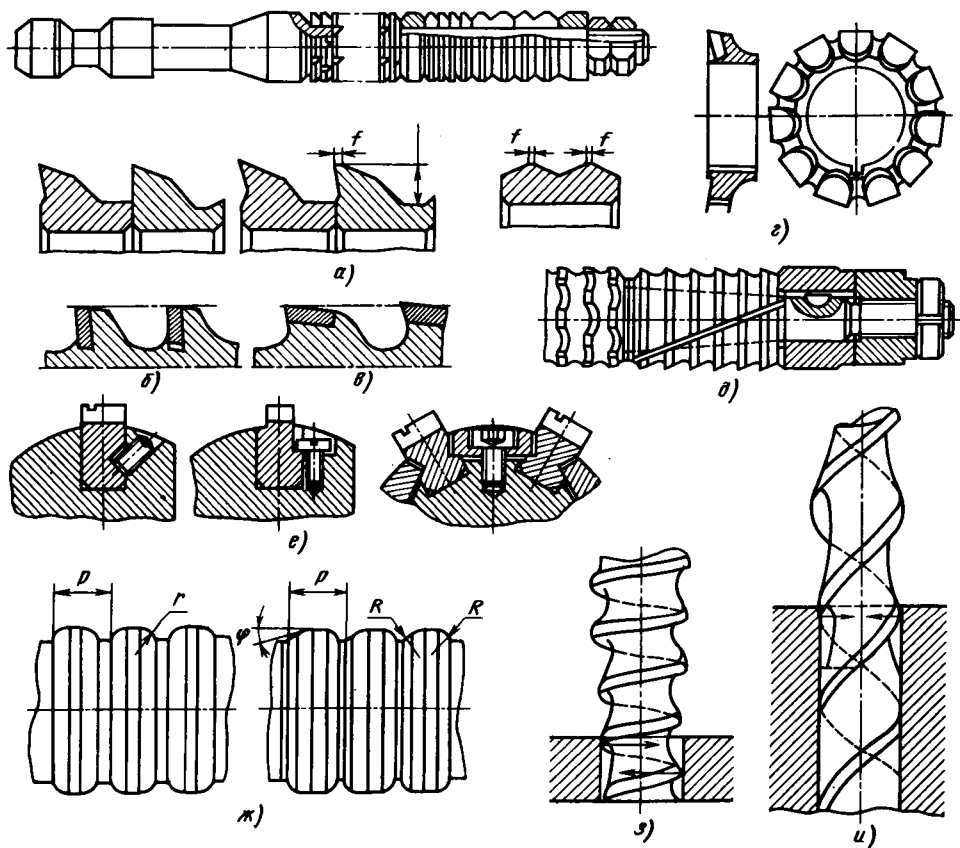


Рис. 2.30. Конструкции протяжек

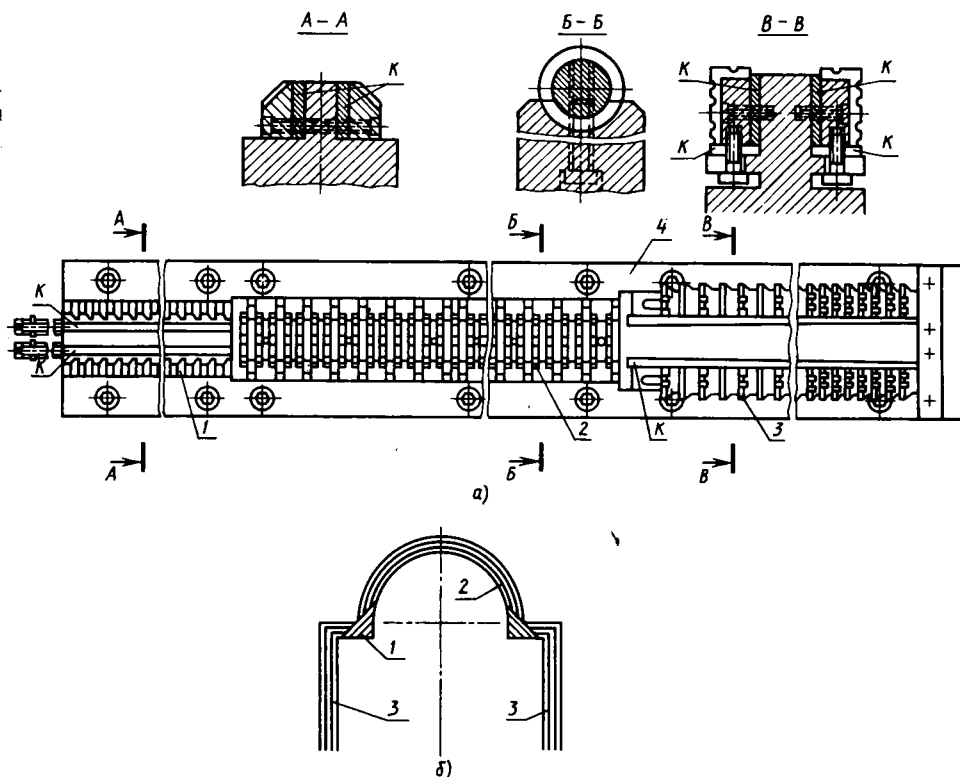


Рис. 2.31. Протяжка для обработки наружных поверхностей (а) и схема резания (б)

калибрующие зубья (рис. 2.30, ж), которые уменьшают параметры шероховатости полученной поверхности.

Для повышения обрабатываемости материала заготовок иногда режущую часть протяжки делают с чередующимися режущими и уплотняющими зубьями.

Кроме протяжек с режущими кромками, расположенными в плоскостях, перпендикулярных к оси, делают протяжки с винтовыми зубьями, что улучшает плавность их работы.

Круглые протяжки для отверстий малой длины делают с винтовыми зубьями (рис. 2.30, з), угол подъема стружечной канавки у них небольшой для возможности увеличения шага зубьев протяжки. У круглых протяжек для обработки длинных отверстий стружечные канавки должны обеспечить отвод стружки по канавке (рис. 2.30, и). Угол наклона канавки делают 20° и более; при винтовом на-

правлении канавок в теле протяжки, в технологической системе возникает дополнительный крутящий момент.

Протяжки для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей заготовок делают постоянного профиля по длине. Обработку осуществляют на специальных станках горизонтального или вертикального типа.

Конструкцию этих протяжек рассмотрим на примере протяжки для обработки поверхности (рис. 2.31, а). Наружные протяжки обычно делают сборной конструкции. Ее рабочая часть состоит из отдельных секций: 1— фасочных, 2— круглых и 3— угловых, закрепленных на корпусе (на инструментальной плите 4). Каждая секция предназначена для обработки определенного участка поверхности заготовки (рис. 2.31, б, номера участков соответствуют номерам секций). Деление на секции производят с учетом принимаемой схе-

мы резания. Схему резания выбирают в зависимости от припуска на обработку и требований, предъявляемых к обработанной поверхности детали, ее формы, обеспечения свободного отвода стружки, минимального (и равномерного) изменения силы резания при рабочем ходе, надежности и удобства крепления секций на плите и регулирования их положения, а также желательной длины протяжки.

Расположение секций на инструментальной плите может быть последовательным, параллельным и параллельно-последовательным. При последовательном расположении секций получается малая сила P , можно обеспечить хорошие условия отвода стружки, обеспечиваются простота и удобство крепления и регулирования положения секций, но при этом получается большая длина протяжки. При параллельном расположении секций получается малая длина протяжки, но требуется большая сила P , затруднен отвод стружки, сложнее крепление и регулирование секций. Поэтому применяют параллельно-последовательную схему расположения секций на плите. В секциях имеются рабочая и калибрующая части, форма и размеры зубьев которых аналогичны внутренним протяжкам.

Применяют разные способы крепления секций на плите (рис. 2.32): винтами сверху через секцию, но при этом необходимо увеличение отдельных шагов, тела зубьев и длины секции (рис. 2.32, а); винтами снизу, но при этом для разборки и регулирования потребуется снимать протяжку со станка (рис. 2.32, б); боковыми винтами, но при этом необходимо свободное место в корпусе (на плите) (рис. 2.32, в); клиньями с наклонной поверхностью у секций, что потребует дополнительного расхода инструментального материала (рис. 2.32, г), клиньями с наклонной поверхностью на плите, что усложнит ее изготовление (рис. 2.32, д), и через промежуточную деталь (рис. 2.32, е).

Для регулирования рабочих размеров протяжки по высоте и ширине применяют продольные клинья (рис. 2.32, ж), положение которых регулируют винтами, или

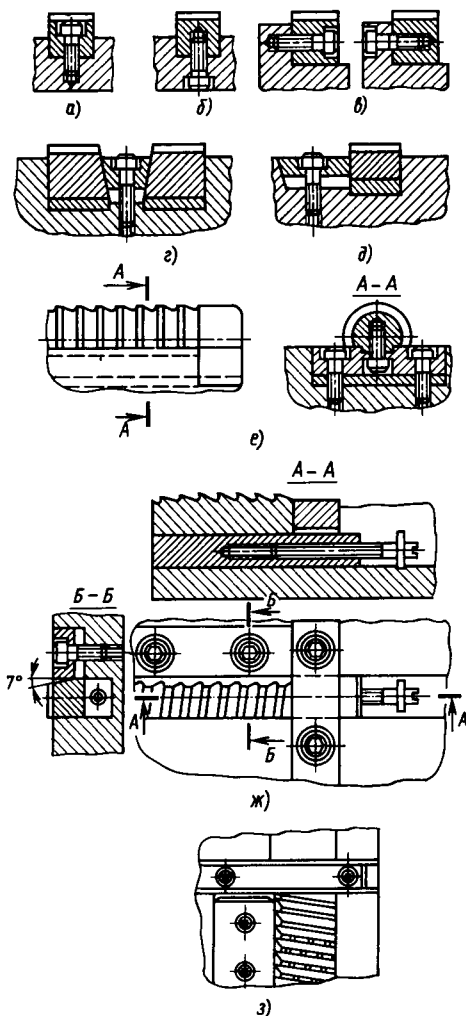


Рис. 2.32. Виды крепления и регулирования секций наружных протяжек, поперечный упор

подкладки K (см. рис. 2.31, а); при использовании последних невозможно подрегулировать размеры при наладке, но обеспечивается большая жесткость крепления.

Для восприятия силы протягивания за секциями в пазы инструментальной плиты устанавливают поперечные упоры (шпонки) (рис. 2.32, ж, з). Инструментальную плиту крепят болтами на столе (ползуне) станка. Сила протягивания передается через поперечный упор; центри-

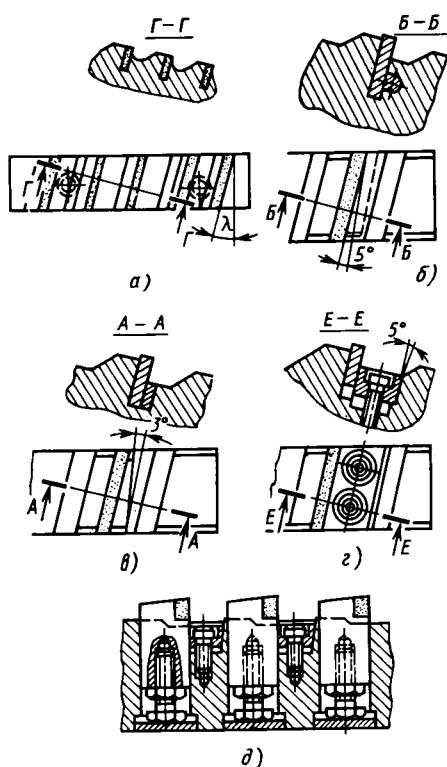


Рис. 2.33. Крепление твердосплавных пластин и вставок в сечениях наружных протяжек

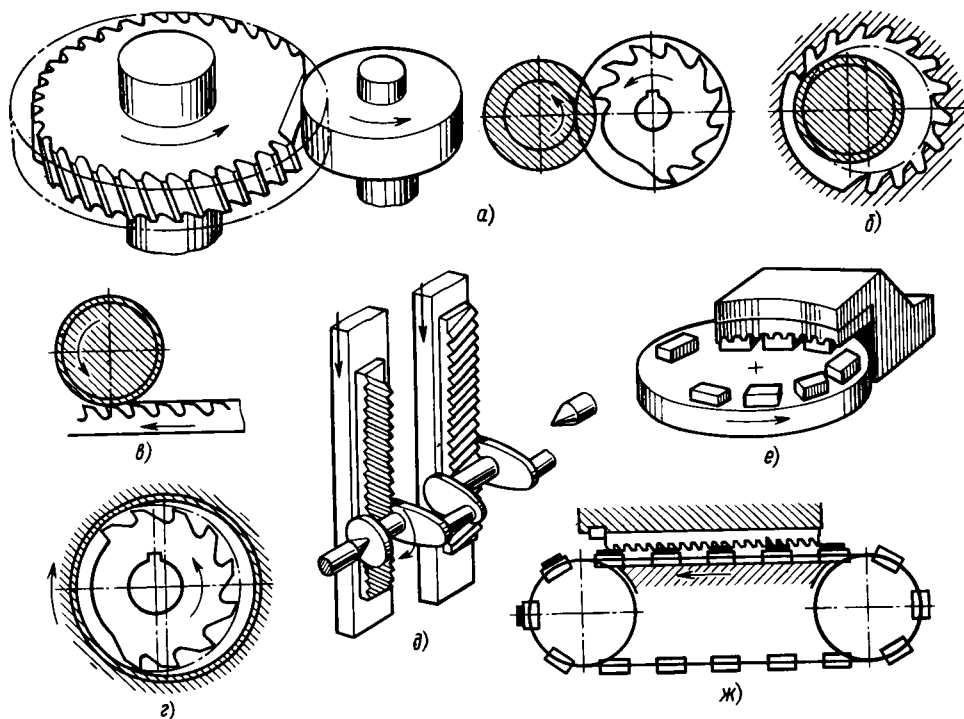
руется протяжка продольной шпонкой, для которой сделаны пазы в нижней плоскости инструментальной плиты.

Для предохранения от возможных перегрузок и поломок зубьев из-за завышенного припуска или неправильной установки заготовки первые зубья делают увеличенной толщины.

Расчеты параметров канавки, силы протягивания, рабочей длины секций следует выполнять как указано выше.

Зубья наружных протяжек оснащают пластинами из твердого сплава, пластины припаивают к зубьям секций (рис. 2.33, а), крепят с помощью продольных (рис. 2.33, б, в) и поперечных (рис. 2.33, г) клиньев или припаивают к регулируемым вставкам (рис. 2.33, д).

Рис. 2.34. Виды особых протяжек и способов обработки методом протягивания



Принцип протягивания и инструменты типа протяжек применяют и в других видах обработки и конструкциях инструментов, отличных от описанных. Например, дисковые (рис. 2.34, а, б) и плоские (рис. 2.34, в) протяжки используют для обработки деталей типа тел вращения с прямолинейными и фасонными образующими, внутренних поверхностей (рис. 2.34, г), шеек коленчатых валов (рис. 2.34, д). Протяжки могут быть закреплены неподвижно, а относительно них перемещается приспособление карусельного (рис. 2.34, е) или цепного (рис. 2.34, ж) типа с установленными заготовками.

§ 2.3. ФРЕЗЫ

Фреза — лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без возможности изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадают с осью вращения (ГОСТ 25751—83). Фрезы представляют собой тела вращения с формой производящей поверхности, зависящей от формы обрабатываемой поверхности и расположения оси фрезы относительно детали. При работе производящая поверхность фрезы с образованными на ней зубьями касается обрабатываемой поверхности.

Кинематика процесса фрезерования характеризуется вращением фрезы вокруг своей оси и движением подачи заготовки или фрезы, которое может быть прямолинейным (поступательным), вращательным или винтовым. При прямолинейном движении подачи обрабатывают плоскости, уступы, пазы, детали с фасонной образующей и прямолинейной направляющей. При вращательном движении подачи обрабатывают поверхности вращения, а при винтовом движении подачи — винтовые поверхности.

Фрезерование является одним из наиболее распространенных методов обработки. Из общего парка металлообрабатывающего оборудования в машиностроении удельный вес фрезерных станков составляет около 20 %, а в отдельных отраслях ма-

шиностроения — до 60 %. По уровню производительности фрезерование уступает только наружному протягиванию.

Отклонения размеров деталей после обработки фрезерованием могут находиться в пределах 7—9-го квалитетов (ГОСТ 25347—82) при параметрах шероховатости до $Ra = 1,25$ мкм (ГОСТ 2789—73).

Фрезы отличаются большим разнообразием типов, форм и назначения как стандартизованных (рис. 2.35), используемых на универсальных фрезерных станках, так и специальных, проектируемых для обработки конкретных изделий.

Классификацию фрез проводят по следующим показателям.

По расположению зубьев относительно оси различают: фрезы цилиндрические с зубьями, расположенными на поверхности цилиндра (рис. 2.35, а); фрезы торцовые с зубьями, расположенными на торце цилиндра (рис. 2.35, б); фрезы угловые с зубьями, расположенными на конусе (рис. 2.35, в); фрезы фасонные с зубьями, расположенными на поверхности с фасонной образующей (рис. 2.35, г) (с выпуклым и вогнутым профилем). Некоторые типы фрез имеют зубья как на цилиндрической, так и на торцовой поверхности, например дисковые двух- и трехсторонние (рис. 2.35, д), концевые (рис. 2.35, е), шпоночные (рис. 2.35, ж, з).

По направлению зубьев фрезы могут быть: прямозубыми (рис. 2.35, д), в которых направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и перпендикулярна направлению скорости главного движения резания (под направляющей линией передней поверхности понимают линию, по которой движется точка прямой, описывающей эту поверхность); косозубые (рис. 2.35, г), у которых направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и наклонена под углом к направлению скорости главного движения резания; с винтовым зубом (рис. 2.35, а), в которых направляющая линия передней поверхности является винтовой.

По конструкции фрезы могут быть: цельными; составными, например с припаянными или приклеенными режущими элементами; сборными, например оснащенными многогранными пластинами из

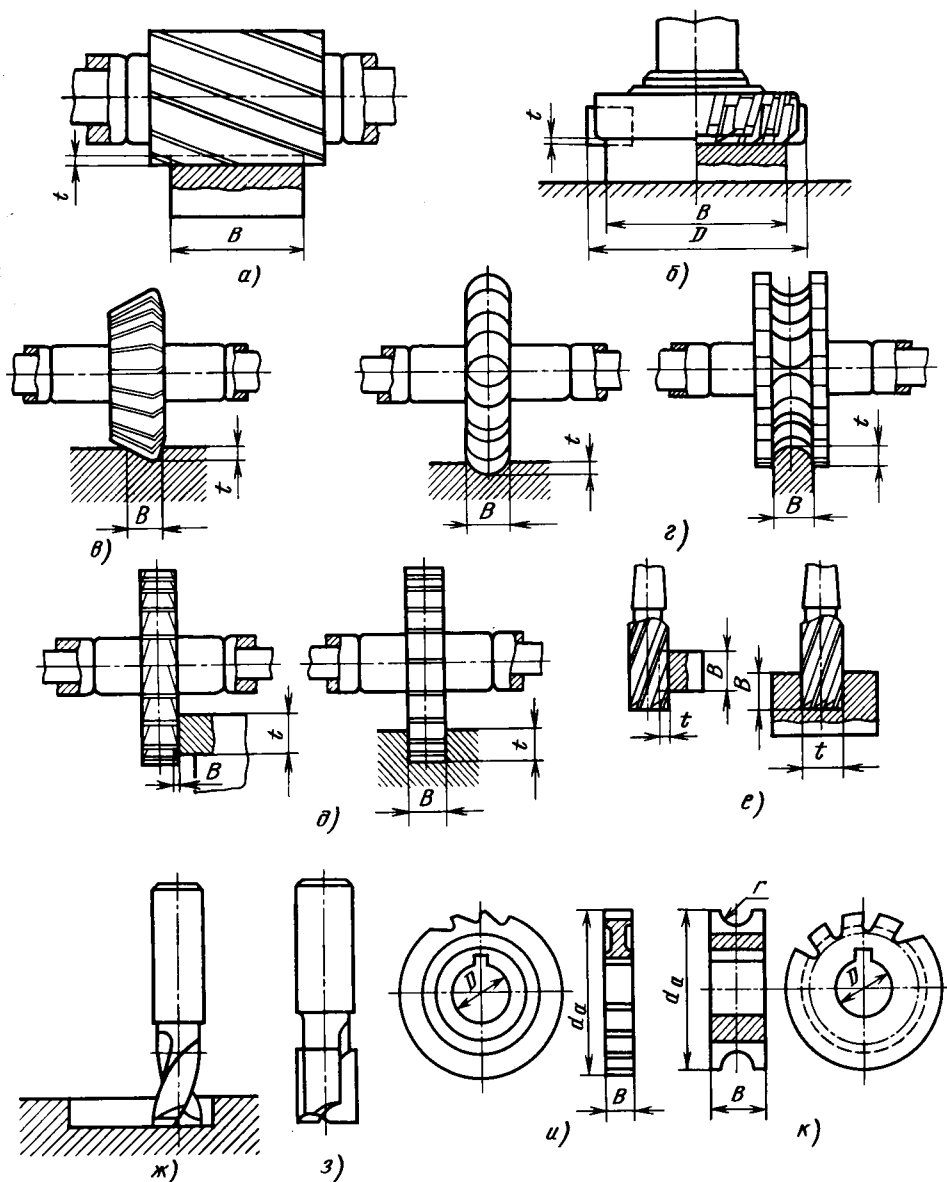


Рис. 2.35. Типы фрез и обрабатываемых поверхностей

твердого сплава; наборными, состоящими из нескольких отдельных стандартных или специальных фрез и предназначенные для одновременной обработки нескольких поверхностей.

По конструкции зубьев фрезы могут быть с острозаточенными (рис. 2.35, и) и затылованными (рис. 2.35, к) зубьями. За-

тылование — процесс образования задней поверхности инструмента по некоторой кривой (обычно спираль Архимеда) для получения задних углов. У острозаточенных фрез задние углы получают заточкой. Фрезы работают с малыми подачами на зуб, поэтому их изнашивание происходит по задней поверхности, и затачи-

вать их целесообразно по задней поверхности. По задней поверхности затачивают острозаточенные фрезы. Однако такую заточку не всегда возможно и не всегда целесообразно выполнять. Форма производящей поверхности может быть сложной, исключающей возможность заточки задней поверхности зуба шлифовальным кругом. Нелесообразно производить заточку задней поверхности у фрез с точным профилем, например у червячных зуборезных и шлицевых, потому что в этом случае нужно вновь обеспечить требуемую точность профиля и шага зубьев. Для приведенных случаев целесообразнее применять затылованные зубья, заточка которых производится по передней по-

верхности, что обеспечивает ее простоту.

По способу крепления на станке различают фрезы насадные с отверстием под оправку и концевые с коническим или цилиндрическим хвостовиком.

Острозаточенные фрезы отличаются многообразием типов. К ним относятся цилиндрические, торцовые, дисковые, концевые, угловые, шпоночные. Т-образные и др. Все типы острозаточенных фрез, несмотря на их многообразие, имеют много общего в методике расчета, назначении и оформлении конструктивных элементов (рис. 2.36, а). К общим конструктивным элементам относятся: диаметр фрезы, посадочные размеры (диаметр отверстия,

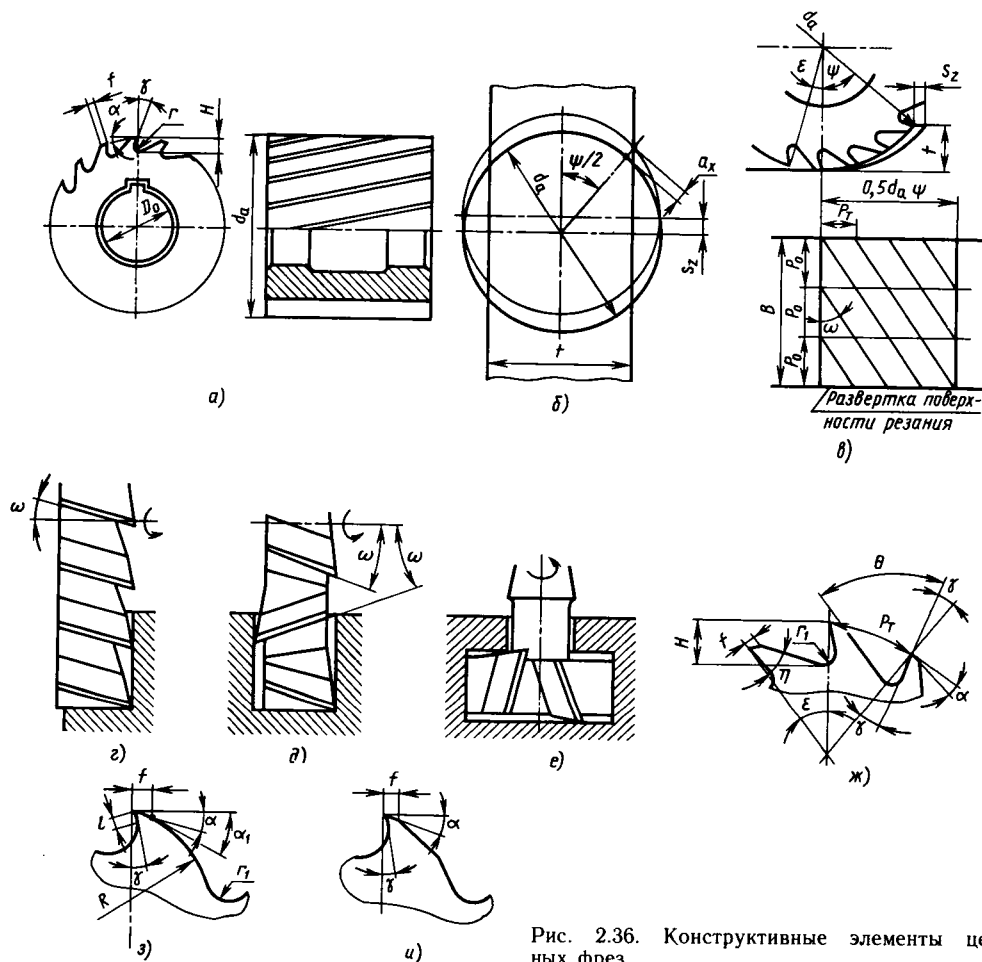


Рис. 2.36. Конструктивные элементы цельных фрез

шпоночная канавка), число зубьев и их форма.

Для сокращения номенклатуры фрез их наружные диаметры стандартизованы. Размерные ряды диаметров составлены по геометрической прогрессии со знаменателем ϕ , равным 1,26; 1,58, т. е. равным знаменателю ряда частоты вращения шпинделей фрезерных станков. Такой выбор размерного ряда наружных диаметров обеспечивает неизменность скоростей резания при применении фрез любого диаметра, в том числе для фрезерных станков, частота вращения шпинделя которых изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем $\phi=1,41$. В размерном ряду последующий наружный диаметр $d_{a_n}=d_{a_{n-1}}\phi$, где n — порядковый номер диаметра.

Размерные ряды диаметров фрез при знаменателе прогрессии $\phi=1,26$ следующие: 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000 мм и при знаменателе прогрессии $\phi=1,58$ — 4; 6; 10 мм и так далее до 1000 мм, т. е. через одно значение ряда $\phi=1,26$.

Диаметр посадочных отверстий выбирают в зависимости от наружного диаметра фрезы, но не более 60 мм с округлением до стандартного ряда: 16; 22; 27; 32; 40; 50 и 60 мм.

Цельные острозаточенные фрезы изготавливают из быстрорежущих сталей. Задача проектирования этих фрез сводится к определению их конструктивных элементов и геометрических параметров, обеспечивающих обработку заданной детали на заданном станке в соответствии с требованиями к параметрам шероховатости обработанной поверхности. В задании на проектирование указывают тип фрезы; схему установки детали на станке (расстояние между опорами оправки цилиндрической фрезы, вылет концевой фрезы относительно шпинделя станка и т. д.); параметры обработки (ширину и глубину резания); требования к шероховатости обработанной поверхности; модель и мощность станка с целью определения возможности обработки детали разработанной фрезой в зависимости от мощности оборудования.

Определение наружного диаметра и диаметра посадочного отверстия. Диаметр фрезы является важнейшим параметром ее конструкции. При выборе диаметра необходимо обеспечить необходимую жесткость оправки для заданных условий работы фрезы.

Диаметр фрезы следует выбирать минимальным с целью снижения машинного времени обработки:

$$T = \frac{(L+x+y)\pi d_a}{1000 v S_z z},$$

где L — длина детали; x — величина врезания, зависящая от наружного диаметра фрезы d_a , мм; v — скорость резания, м/мин; y — величина перебега фрезы (2—3 мм); S_z — подача на зуб фрезы, мм; z — число зубьев фрезы.

Наружный диаметр насадных фрез [37] должен обеспечить прочность фрезы в сечении между окружностью впадин и посадочным отверстием. Опытным путем установлено, что нормальная работа фрез имеет место при прогибе оправки, не превышающем $\delta=0,4$ мм при черновом и $\delta=0,2$ мм при чистовом фрезеровании. Оправку фрезы можно рассматривать как балку, защемленную на концах (конус 7:24 и подшипник скольжения). Ее деформация зависит от расстояния l , мм, между опорами, ширины фрезерования B , мм, глубины резания t , мм, и подачи на зуб S_z , мм. Подача на зуб S_z зависит от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности. С учетом изложенного, диаметр цилиндрических фрез [37]

$$d_a = 0,2 B^{0,26} t^{0,09} S_z^{0,06} \rho^{0,78} \delta^{-0,26}. \quad (2.20)$$

Наружный диаметр дисковых фрез

$$d_a = 0,12 B^{0,25} t^{0,09} S_z^{0,055} \rho^{0,78} \delta^{-0,25} + 2(t' + \Delta), \quad (2.21)$$

где t' — глубина паза или уступа, мм; $\Delta=10$ мм — толщина простановочного кольца и зазор между оправкой и заготовкой.

Диаметр концевых фрез при обработке уступов и плоскостей

$$d_a = 0,4 B^{0,2} t^{0,175} S_z^{0,14} Z^{0,2} \rho^{0,62} \delta^{-0,2}. \quad (2.22)$$

где l_1 — вылет фрезы относительно шпинделя. Число зубьев z следует задавать.

При черновом фрезеровании подачу на зуб можно выбирать: при обработке заготовок из стали $S_z = 0,4 \dots 0,6$ мм, при обработке заготовок из чугуна $S_z = 0,6 \dots 0,8$ мм.

При выборе диаметра торцовых фрез необходимо учитывать, что при заданной ширине t заготовки врезание зуба должно происходить при толщине среза $a_x \geq \rho$, где ρ — радиус скругления лезвия, мм. Это имеет место при $d_a/t = 1,2 \dots 1,5$. При симметричном фрезеровании (рис.

2.36, б) толщина среза $a_x = S_z \cos \frac{\psi}{2} \sin \phi$, где ψ — угол контакта фрезы с заготовкой; ϕ — угол лезвия фрезы в плане. Учитывая, что $\cos \psi/2 = \sqrt{1 - t^2/d_a^2}$ при $a_x = \rho$,

получим

$$d_a = \sqrt{\frac{S_z \sin^2 \phi t^2}{S_z^2 \sin^2 \phi - \rho^2}}. \quad (2.23)$$

Радиус скругления лезвия $\rho = 35 \dots 0,55 (\alpha + \gamma)$, мкм, где α — задний угол; γ — передний угол. При затуплении радиус ρ увеличивается примерно в 3 раза. В эту формулу подставляют значение ρ (в мм) для изношенного инструмента.

Рассчитанные диаметры фрез округляют до ближайших стандартных размеров.

Диаметр посадочного отверстия

$$D_0 = d_a/2,25 \quad (2.24)$$

с округлением до стандартного размера. Точность изготовления посадочного отверстия должна соответствовать 7-му качеству и для высокоточных зуборезных фрез — 5-му качеству (ГОСТ 25347—82). При расчете диаметра посадочного отверстия дисковых фрез из формулы (2.21) можно исключить слагаемое $2 (t' + \Delta)$.

Геометрические параметры фрезы. У фрез для обработки заготовок из стали и чугуна задний угол

$$\sin \alpha = 0,13/a_{\max}^{0,3} \quad (2.25)$$

где $a_{\max}$ — максимальная толщина среза, мм, $a_{\max} = S_z \sin \phi$.

Передний угол γ выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала. При обработке заготовок из сталей и чугунов $\gamma = 10 \dots 20^\circ$.

Число зубьев фрез выбирают из условия равномерности фрезерования с учетом эффективной мощности оборудования. Для дисковых фрез всех типов необходимо, чтобы на поверхности резания располагалось несколько зубьев (рис. 2.36, в) для улучшения равномерности фрезерования, т. е.

$$z = 360\xi/\psi, \quad (2.26)$$

где ξ — коэффициент равномерности фрезерования; ψ — угол контакта фрезы с заготовкой, $\cos \psi = 1 - 2t/d_a$.

При расчете числа зубьев фрезы по формуле (2.26) обеспечить равномерность фрезерования нельзя, потому что толщина срезаемой стружки будет изменяться в зависимости от расположения зубьев на поверхности резания.

Равномерность фрезерования можно улучшить, если зубья располагать не параллельно оси фрезы, а под углом $\omega = 10 \dots 15^\circ$. Для дисковых двусторонних фрез направление наклона зубьев должно быть односторонним (рис. 2.36, г), и выбирать его надо так, чтобы обеспечить положительные передние углы на боковых режущих кромках.

Для дисковых трехсторонних фрез с целью обеспечения положительных передних углов на боковых режущих кромках зубья делают разнонаправленными (рис. 2.36, д). В этом случае на вершину лезвия действует удвоенная нагрузка (по сравнению с прямозубой фрезой), однако благодаря положительным передним углам стойкость фрез увеличивается. С разнонаправленными зубьями делают также фрезы для обработки Т-образных пазов (рис. 2.36, е).

Для цилиндрических фрез равномерность фрезерования достигается применением винтовых зубьев с углом наклона ω , обеспечивающим постоянство сечения

срезаемой стружки в каждый момент времени (см. рис. 2.36, в). Это условие выполняется, если по ширине фрезерования размещается целое число осевых шагов $P_o = P_r \operatorname{ctg} \omega$, где $P_r = \pi d_a / z$ — окружной шаг зубьев. Угол наклона зубьев

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{Bz}{\pi d_a \xi}, \quad (2.27)$$

где ξ — коэффициент равномерности фрезерования, для фрез с винтовым зубом равен целому числу.

Направление угла ω наклона зуба следует выбирать так, чтобы осевая составляющая силы резания были направлена в сторону шпинделя.

Фрезы с винтовым зубом обладают более высокой стойкостью по сравнению с прямозубыми вследствие увеличения кинематических передних углов [42]. Это позволяет назначать меньшие значения передних углов в нормальном сечении, что повышает прочность зуба и позволяет увеличить в 1,5—2 раза подачу на зуб.

При проектировании стандартных фрез для черновой обработки число зубьев

$$z = \frac{C_z d_a}{\sqrt{t S_z}}, \quad (2.28)$$

где $C_z = 0,2$ для цилиндрических и дисковых фрез, $C_z = 0,6$ — для торцовых фрез.

Для стандартных фрез для чистовой обработки всех типов число зубьев $z = \pi d_a / (4i\kappa_1)$, где i — число переточек до полной амортизации фрезы; $\kappa_1 = 0,15 \dots 0,25$ мм — толщина слоя, снимаемого за одну переточку.

Максимальное число зубьев фрезы может быть определено в зависимости от эффективной мощности оборудования. При обработке заготовок из стали число зубьев цилиндрических, концевых фрез, дисковых и прорезных фрез

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}}}{3,5 \cdot 10^{-5} t^{0,86} n B S_z^{0,72} d_a^{0,14}}; \quad (2.29)$$

торцовых фрез

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}} d_a^{0,1}}{4,22 \cdot 10^{-5} t^{0,95} n B^{1,1} S_z^{0,8}}; \quad (2.30)$$

При обработке заготовок из чугуна число зубьев цилиндрических, концевых, дисковых, прорезных и отрезных фрез

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}}}{1,54 \cdot 10^{-5} t^{0,83} n S_z^{0,65} B d_a^{0,17}}; \quad (2.31)$$

торцовых фрез

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}} d_a^{0,14}}{2,57 \cdot 10^{-5} t^{0,9} B^{1,14} S_z^{0,72}}; \quad (2.32)$$

где $N_{\text{эф}}$ — эффективная мощность станка, $N_{\text{эф}} = N\eta$, здесь N — мощность главного двигателя; $\eta = 0,75$ — КПД станка.

Профиль зубьев фрез. Зубья фрезы должны обладать достаточной прочностью, обеспечивать максимально возможное число переточек и достаточное пространство для размещения стружки при максимальном стачивании по задней поверхности. Число зубьев и их шаг зависят от диаметра фрезы, условий эксплуатации (черновое или чистовое фрезерование), свойств обрабатываемого материала.

При черновом фрезеровании необходимо обеспечить высокую прочность зуба при работе с увеличенными подачами и достаточную площадь стружечной канавки. В этом случае применяют фрезы с окружным шагом зубьев $P_r > 10$ мм. Такие фрезы называют фрезами с крупным зубом. Их применяют в тех случаях, когда $t S_z > 1$, где t — глубина фрезерования, мм, S_z — подача на зуб, мм. При чистовом фрезеровании заготовок из стали и при обработке крупных материалов применяют фрезы с торцовым шагом зубьев $P_r \leq 10$, называемые фрезами с мелким зубом. Их применяют в тех случаях, когда $t S_z \leq 1$.

В зависимости от шага применяют три типа профилей зубьев. Для фрез с мелким зубом принята трапециевидальная форма профиля (рис. 2.36, ж). Угол тела зубьев $\eta = 47 \dots 52^\circ$. Угол стружечной канавки $\theta = \eta + \varepsilon$, где $\varepsilon = 360/z$ — угловой шаг зубьев. Ширина вершины зуба $f = 0,5 \dots 2$ мм, а радиус закругления дна впадины $r_1 = 0,5 \dots 2$ мм, что исключает образование трещин при термической обработке. Высота зуба $H = 0,5 \dots 0,65$ окружного шага зубьев P_r .

У фрез с винтовыми и косыми зубьями угол η рассматривают в плоскости, перпендикулярной к направлению зубьев. В этом случае $\eta = \theta - \varepsilon_i$, где ε_i — угол, соответствующий шагу зубьев при приведенном их количестве z_i , т. е. $\varepsilon_i = 360/z_i$, а $z_i = z/\cos^3 \omega$.

Приведенное число зубьев z_i есть то число зубьев, которое имеет фреза радиусом R_i , соответствующим радиусу кривизны эллипса в направлении его оси, $R_i = d_a/2\cos^2 \omega$.

При проектировании фрез с винтовыми и косыми зубьями необходимо проверить по приведенной выше формуле угол η , который должен быть равен $47-52^\circ$.

Крупнозубые фрезы имеют профиль зубьев либо криволинейный (рис. 2.36, з), либо двухугловой (рис. 2.36, и). Канавку зуба криволинейного профиля обрабатывают специальной фрезой. Двухугловой профиль зуба обрабатывают двумя стандартными угловыми фрезами с оставлением фаски f . Высота зуба $H = (0,3...0,45) P_T$, угол закругления dna впадины $r_1 = (0,4...0,75) H$, а радиус закругления спинки зуба $R = (0,3...0,45) d_a$.

Из условия размещения стружки зуб фрезы стачивают по высоте на величину до $0,75 H$.

Расчет на ЭВМ цилиндрических фрез. Выше были приведены формулы и данные, необходимые для расчета конструктивных элементов цельных фрез. Формализация конструктивных элементов позволяет рассчитывать параметры фрезы на ЭВМ. В качестве примера на рис. 2.37 приведен алгоритм расчета цилиндрических фрез. В нем предусмотрен расчет фрезы для обработки заготовки заданного параметра шероховатости. Конечный результат расчетов предусматривает получение параметров всех конструктивных элементов фрезы, а также данных о режимах резания и необходимой мощности фрезерного станка.

Блоки 2—5 позволяют по заданным параметрам шероховатости детали выбрать подачу на зуб фрезы с учетом допустимого прогиба оправки.

Блоки 7—11 обеспечивают выбор и округление до ближайших стандартных размеров диаметра фрезы с учетом макси-

мально и минимально допустимых. Если в результате расчета получен диаметр меньше минимально допустимого, будет выдана рекомендация на использование концевой фрезы при останове машины. Если получен диаметр, превышающий максимально допустимый, выдается рекомендация на использование торцевой фрезы при останове машины.

Блоки 13 и 14 обеспечивают расчет диаметра посадочного отверстия и округление его до стандартных размеров; блоки 15—20 позволяют выбрать число зубьев и угол наклона зубьев с учетом равномерности фрезерования; блоки 21—27 — форму зуба и впадины и рассчитать их конструктивные параметры; блоки 28—30 — длину и геометрические параметры фрезы. Задний угол рассчитывают по известной формуле. Передний угол должен быть выбран в зависимости от свойств материала заготовки.

Скорость резания и мощность станка рассчитывают в блоках 31—34.

В алгоритме пока не учтены расчеты на виброустойчивость технологической системы из-за отсутствия соответствующих математических зависимостей, которые можно получить только экспериментальными исследованиями.

Конструктивные особенности различных типов острогатованных фрез из быстрорежущей стали. Рассмотрим следующие типы фрез.

Концевые фрезы делают либо с цилиндрическим (диаметр 3—20 мм) хвостовиком, либо с конусом Морзе с резьбовым отверстием (диаметр 14—63 мм) (рис. 2.38, а) для затяжного болта. У фрез, предназначенных для обработки пазов и уступов, направление винтовых канавок и направление вращения не должны совпадать. Это обеспечивает лучший отвод стружки и получение положительных передних углов на торцевых зубьях (рис. 2.38, б). При обработке плоскостей направление винтовых канавок делают совпадающим с направлением вращения. В этом случае осевая составляющая силы резания направлена к шпинделю станка, а отвод стружки обеспечивается в направлении от шпинделя как показано на рис. 2.38, в.

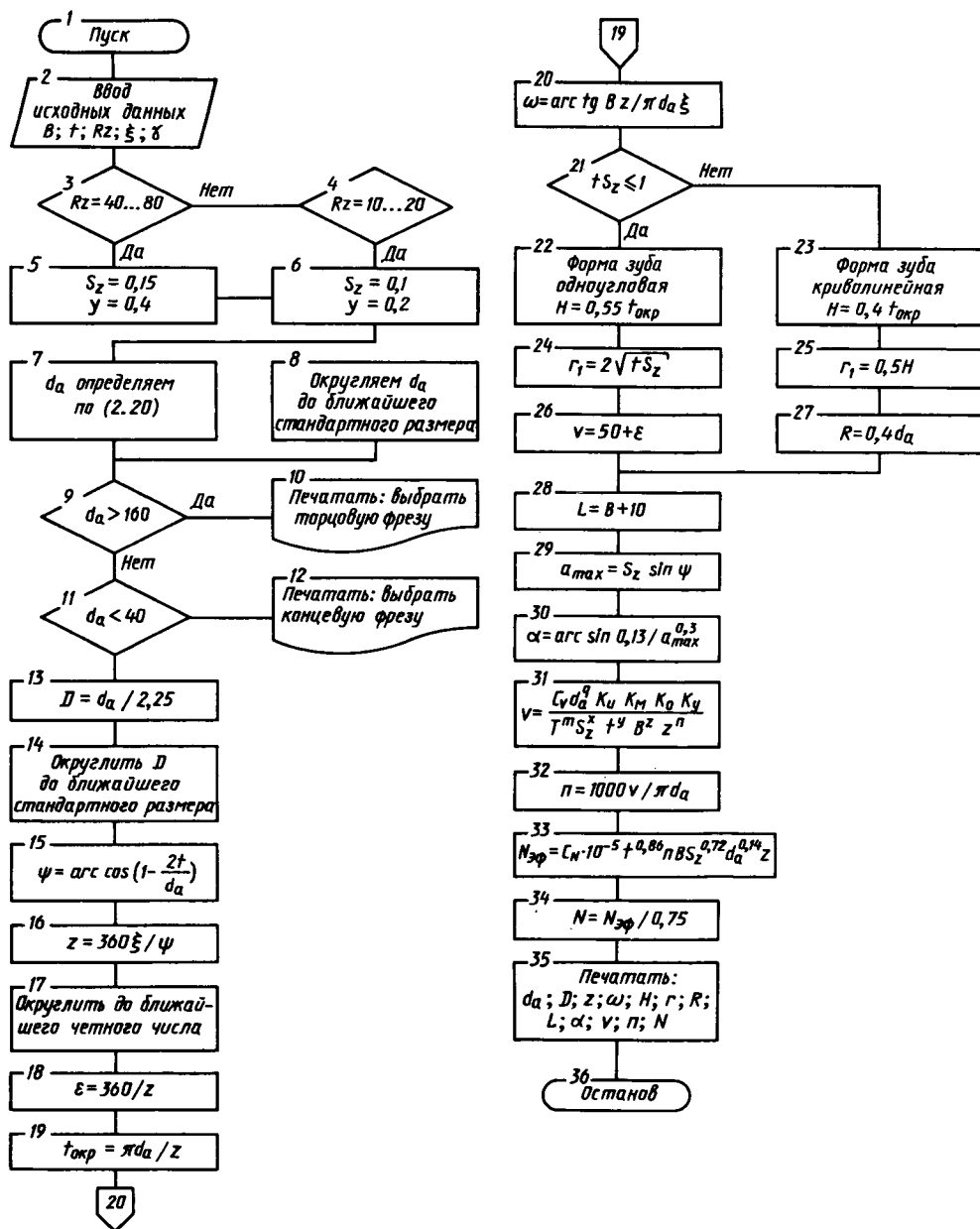


Рис. 2.37. Алгоритм расчета на ЭВМ цилиндрических фрез

Шпоночные фрезы. Особенность работы шпоночной фрезы заключается в том, что она фрезерует шпоночный паз в несколько проходов как в одну, так и в другую сторону, причем в конце каждого прохода осуществляется вертикальная подача. Для

обеспечения жесткости длину рабочей части делают равной трем диаметрам фрезы при диаметре сердцевины до 0,3 диаметра фрезы. Конструктивное оформление торцовых зубьев приведено на рис. 2.38,г. Фрезы выполняют с прямыми или винто-

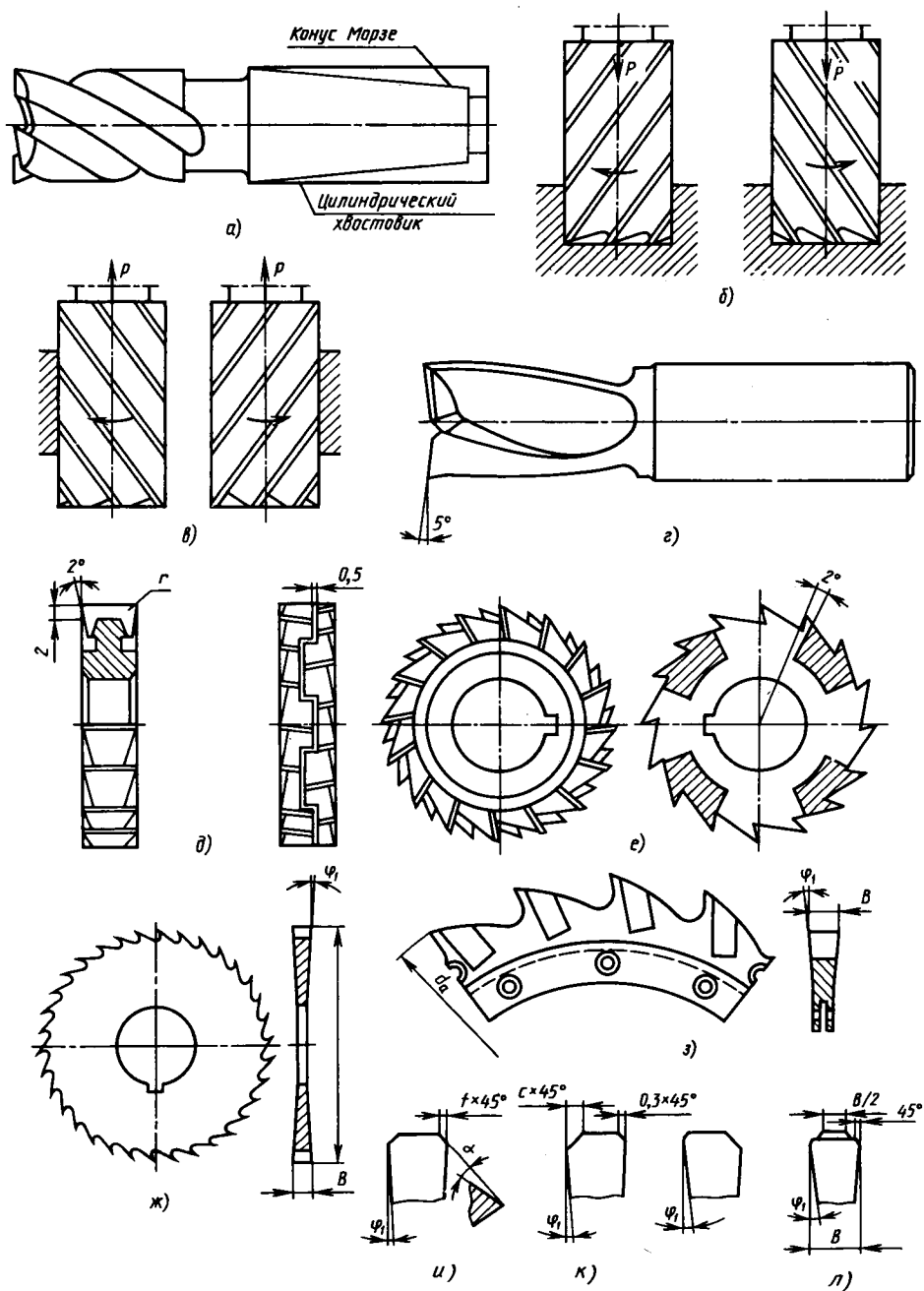


Рис. 2.38. Цельные фрезы из быстрорежущей стали

выми канавками, цилиндрическим или коническим хвостовиком, с двумя зубьями, причем один торцовый зуб делают равным половине диаметра фрезы, а второй стачивают у оси фрезы.

Пазовые фрезы выполняют с прямым зубом, расположенным на цилиндрической поверхности. Для увеличения размерной стойкости на боковых сторонах оставляют фаски $f=1...2$ мм с углом в плане $\varphi=0$ (рис. 2.38,б), затем затачивают под углом $\varphi_1=1...2^\circ$. Фрезы быстро теряют размер по ширине, поэтому для обработки пазов целесообразно применять составные фрезы, регулируемые по ширине с помощью прокладок. Для перекрытия зубьев обе половинки соединяют в замок (рис. 2.38,е).

Угловые фрезы могут быть одноугловыми, т. е. с одной образующей, расположенной под углом по отношению к оси фрезы, и двухугловыми, имеющими две начальные образующие, расположенные под одинаковыми или различными углами φ . У угловых фрез угол β наклона дна канавки и ее глубину H рассчитывают так, чтобы обеспечить постоянство ширины ленточки $f=0,6...1,2$ мм на всем протяжении зуба при выбранном угле впадины θ в сечении, перпендикулярном к дну впадины. Постоянство ширины ленточки будет обеспечено при условии, что точка профиля рабочей фрезы θ будет касаться как линии O_1C_1 , так и линии O_1B_1 (рис. 2.39, а), представляющей собой проекцию последующего зуба на переднюю поверхность предыдущего. Угол наклона дна канавки $\beta=\tau_1-\tau_2$, где τ_1 — угол наклона проекции O_1B_1 последующего зуба на переднюю поверхность предыдущего; τ_2 — угол между линией O_1B_1 и дном впадины. Углы определяют по формулам $\operatorname{tg} \tau_1 = \cos \varepsilon / \operatorname{tg} \varphi$ и $\operatorname{tg} \tau_2 = \sin \tau_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1$, где ε — угловой шаг зубьев.

Глубина канавки

$$H = \frac{r_a \cos(\varphi + \beta)}{\cos \varphi} - \frac{f}{\cos \varepsilon \operatorname{tg} \theta},$$

где r_a — радиус фрезы. Для зубьев, расположенных на плоском торце угловой фрезы, угол наклона дна впадины (рис. 2.39,б) $\beta_1=90^\circ-\tau_3$, где τ_3 — угол между

торцом фрезы и дном впадины, $\sin \tau_3 = \operatorname{tg} \varepsilon \operatorname{tg} \theta$.

Глубина стружечной канавки

$$H = \frac{r_a \sin \varepsilon - f}{\cos \varepsilon \operatorname{tg} \theta}.$$

По приведенным формулам рассчитывают углы наклона дна впадины на торцовых зубьях дисковых, торцовых и концевых фрез, а также у конических разверток, зенковок и цековок.

Фрезы прорезные и отрезные применяют для резки заготовок. Изготавливают их цельными, диаметром 20—315 мм и шириной 0,2—6 мм (см. рис. 2.38, ж) или сборными (см. рис. 2.38,з), оснащенными сегментами.

Для уменьшения трения боковых сторон фрезы об обработанную поверхность их делают с углами $\varphi_1=15...30'$, а иногда и с утонением диска. Для улучшения размещения стружки в канавке за счет уменьшения ширины стружки на вершинах зубьев делают фаски (см. рис. 2.38,у) или применяют групповую схему резания

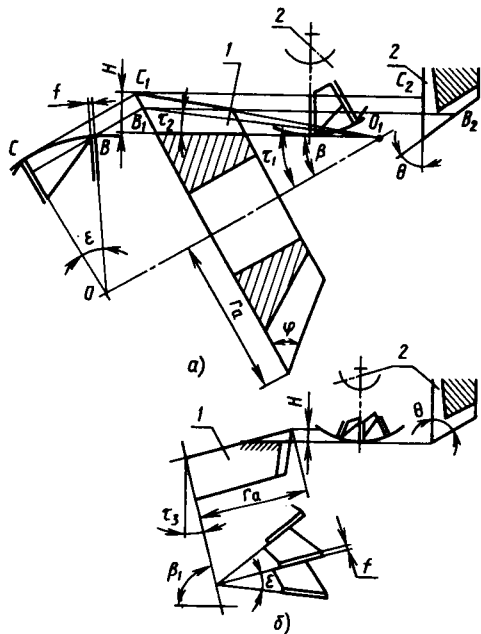


Рис. 2.39. Глубина и наклон дна стружечной канавки у угловых и торцовых зубьев:
1 — заготовка фрезы; 2 — канавочная фреза

двух исполнений: с попеременной заточкой смежных зубьев (см. рис. 2.38,к) под углом 45° и шириной $s=B/3$ или с попеременным изменением ширины зуба, причем узкий зуб делают выступающим (см. рис. 2.38, л).

Сборные конструкции фрез обеспечивают значительную экономию быстрорежущей стали и снижение эксплуатационных расходов из-за возможности многократного использования корпуса и замены ножей после их изнашивания. Большое влияние на эффективность конструкции сборных фрез имеет способ крепления зубьев. Наиболее простым и надежным способом крепления для фрез из быстрорежущих сталей является применение рифлений обеспечивающих компактность крепления и возможность размещения значительного числа зубьев.

Вариантов конструктивного оформления креплений много. На рис. 2.40 приведены наиболее часто применяемые. В конструк-

ции, приведенной на рис. 2.40,а, нож и паз имеют угол 5° при расположении рифлений вдоль ширины ножа. Нож забивают в паз. Данный способ позволяет регулировать высоту зуба путем выдвижения на несколько шагов рифлений, но не обеспечивает восстановление вылета ножа относительно торца фрезы. Для регулирования и восстановления вылета ножа по диаметру и относительно торца применяют для крепления клин (рис. 2.40,б,в). В тех случаях, когда требуется восстановление диаметра и одновременно вылета ножа относительно торца корпуса, применяют нож двойной клиновидности (рис. 2.40,г). Ножи с рифлениями применяют на дисковых двух- и трехсторонних фрезах (рис. 2.40,д) диаметром 80—160 мм, цилиндрических фрезах диаметром 75—110 мм (рис. 2.40,е) и торцовых фрезах диаметром 80—250 мм (рис. 2.40,ж).

При проектировании дисковых фрез паз под нож рассчитывают так, чтобы обеспечить получение заданного переднего угла без дополнительной заточки передней поверхности. На рис. 2.41,а приведена схема для расчета паза. Радиальный передний угол γ_1 целесообразно определять для точки А, расположенной в середине ширины фрезы, так как в этом случае обеспечивается минимальное изменение переднего угла по ширине лезвия. Для этой точки $\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \gamma / \cos \omega$. Для точки А смещение паза под нож $e = r_a \sin \gamma_1$. Для фрезерования паза его смещение на торце фрезы $E = r_a \sin \gamma_1 \pm 0,5 B_1 \operatorname{tg} \omega$, где B_1 — ширина корпуса фрезы.

Аналогично определяют E для цилиндрических фрез с наклонным пазом, но после сборки их переднюю поверхность заточкой делают винтовой. Расстояние H_1 от оси фрезы до дна паза под нож является конструктивным размером, зависящим от высоты ножа, $H_1 = r_a - (h_1 + \Delta) + \Delta_1$, где h_1 — высота заготовки ножа; Δ — зазор между торцом ножа и дном паза; $\Delta_1 = 0,2 \dots 0,3$ мм — припуск на шлифование фрезы по диаметру и заточивание после сборки. Ширина паза под нож зависит от его торщины и способа крепления.

При проектировании торцовых фрез угол ω паза под нож и его смещение

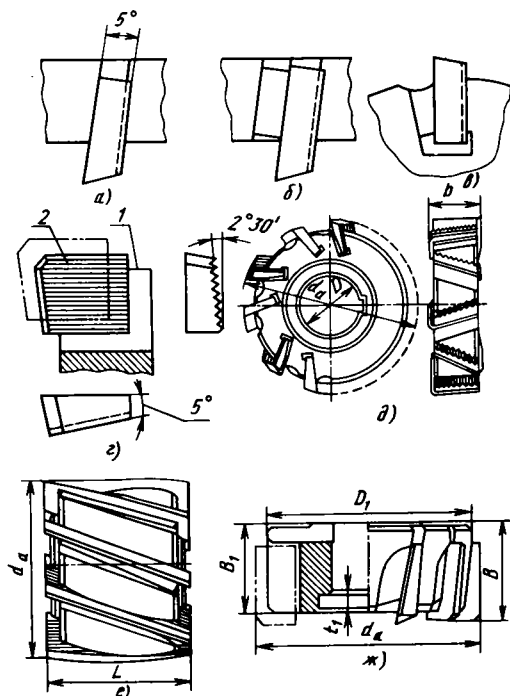


Рис. 2.40. Сборные фрезы из быстрорежущей стали

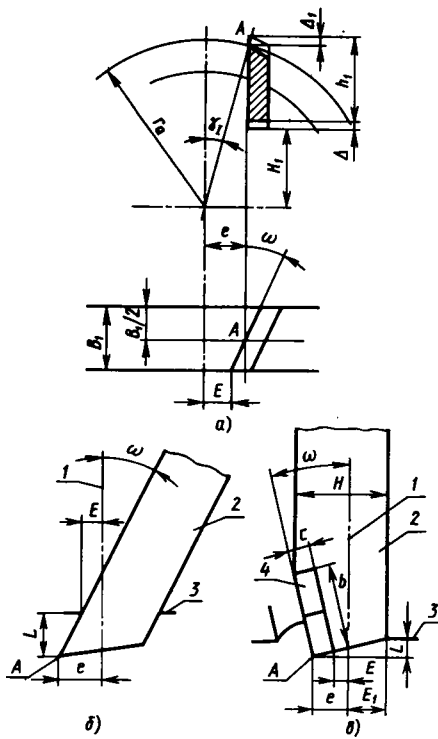


Рис. 2.41. Схема к расчету параметров паза под нож в корпусе фрезы

E рассчитывают так, чтобы обеспечить получение заданного переднего угла γ на вершине лезвия и угла наклона режущей кромки λ без дополнительной заточки плоского ножа. Расчетная схема приведена на рис. 2.41, б. При проектировании назначают углы ϕ , γ , λ . Расчетная схема приведена на рис. 2.41, в, где 1—ось фрезы; 2—нож; 3—корпус фрезы, а опорная поверхность ножа перпендикулярна плоскости чертежа.

Угол наклона ножа (и паза под нож) $\text{tg}\omega = \text{tg}\gamma_{11}\cos\gamma_1$, где γ_{11} — осевой передний угол, γ_1 — радиальный передний угол

$$\text{tg}\gamma_1 = \text{tg}\gamma\sin\phi + \text{tg}\lambda\cos\phi; \quad (2.33)$$

$$\text{tg}\gamma_{11} = \text{tg}\gamma\cos\phi - \text{tg}\lambda\sin\phi. \quad (2.34)$$

В этих формулах необходимо учитывать знак значений углов λ и γ .

Смещение вершины режущей кромки относительно оси фрезы $e = r_a\sin\gamma_1$ и на

торце корпуса $E = e - L\text{tg}\omega$, где L — вылет ножа относительно корпуса.

Твердосплавные фрезы широко применяют в машиностроении, так как они обеспечивают резкое повышение производительности труда и возможность обработки современных конструкционных материалов, которые не могут быть обработаны фрезами из быстрорежущих сталей. По конструкции фрезы из твердых сплавов могут быть монолитными, составной и сборной конструкции. Монолитными делают дисковые и концевые мелкогабаритные фрезы. Их изготавливают либо методом прессования в специальных пресс-формах, либо делают из пластифицированных заготовок. Во ВНИИинструмент создан автомат для прессования концевых фрез производительностью до 60 заготовок в час, причем заготовки имеют винтовые зубья и центровые отверстия для последующего шлифования и заточки. По внешнему виду они не отличаются от концевых фрез из быстрорежущей стали. При применении пластифицированных заготовок их подвергают после прессования предварительному спеканию, а затем механической обработке резанием инструментом из быстрорежущей стали. После обработки базовых поверхностей и нарезания зубьев заготовки поступают на окончательное спекание, после чего их шлифуют и затачивают.

Составной конструкции делают концевые фрезы диаметром от 20 до 50 мм, причем их оснащают либо коронками (рис. 2.42, а), либо винтовыми пластинами (рис. 2.42, б). Цилиндрические фрезы оснащают винтовыми пластинами (рис. 2.42, в).

Особенно широкое распространение получили сборные твердосплавные фрезы, оснащенные многогранными пластинами. Эти фрезы отличаются высокой эффективностью, так как обладают высокими прочностью и надежностью, не требуют переточек и обеспечивают многократное использование корпусов. Применяя точные пластины классов допусков А и F с целью минимального биения режущих кромок. Конструкции фрез, оснащенных многогранными пластинами, отличаются большим разнообразием. Конструкции концевой и дисковой фрезы приведены соответ-

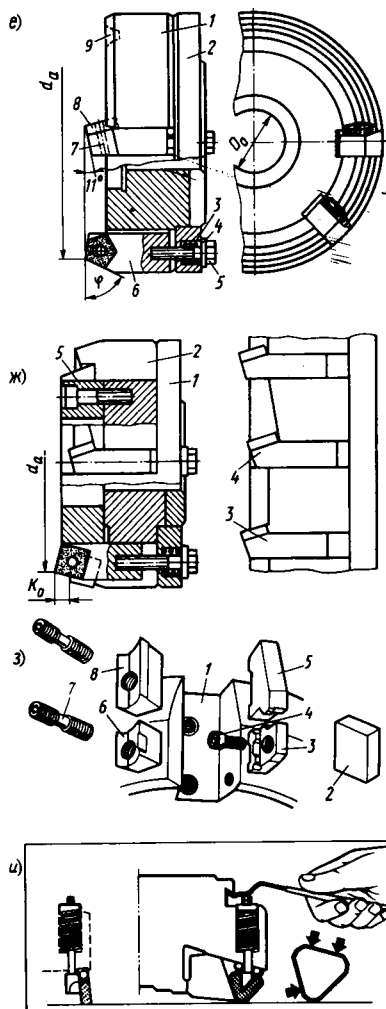
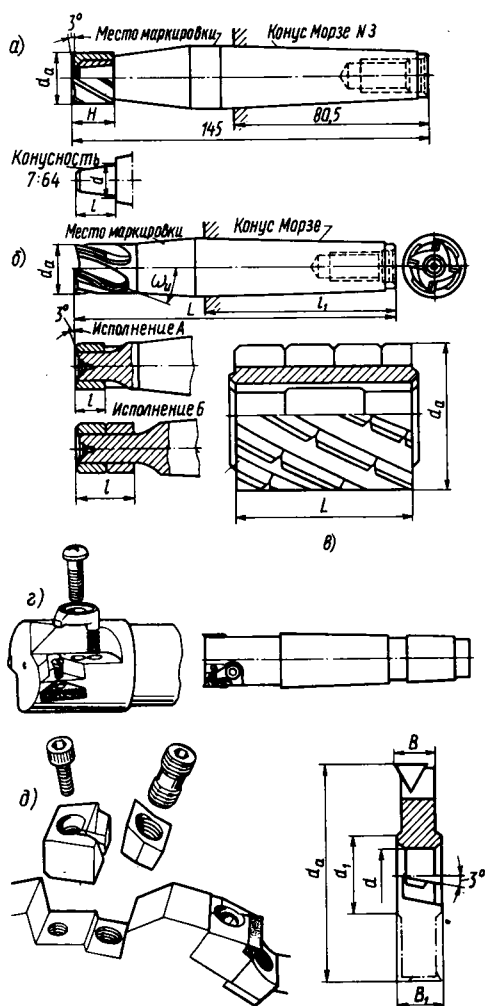


Рис. 2.42. Твердосплавные фрезы

ственно на рис. 2.42,г,д. Они оснащены пластинами с задними углами, равными 11° . На рис. 2.42,е, и приведены конструкции торцовых фрез. В корпусе 1 фрезы (рис. 2.42,е) имеются пазы с установленными державками 6, имеющими штифты 7. На штифты свободно устанавливают пластины 8. На кольцо 2 со ступенчатыми отверстиями для зажимных винтов устанавливают пружины 3, которые через шайбу 4 и винт 5 прижимают пластины 8 к опорным фаскам на кольцевой выточке 9 корпуса 1. Форма кольцевой

выточки соответствует форме пластин. Окончательно пластины крепят винтом 5. Для замены и поворота пластин ослабляют винт 5 и, нажимая на него, сдвигают державку 6, обеспечивая свободный съем пластины. Конструкция разработана во ВНИИинструменте.

На рис. 2.42,ж приведена конструкция ступенчатой фрезы. Такие фрезы применяют при снятии больших припусков в условиях недостаточной мощности и виброустойчивости станков. Фреза снабжена дополнительным кольцом 5 с пазами под

пластину и внешней ступенчатой конусной поверхностью. Аналогичные пазы и внутреннюю ступенчатую поверхность имеет корпус 2. Ножи 3 и 4 имеют различные диаметры и различную высоту установки. На кольцо 1 имеются ступенчатые отверстия для крепежных винтов и пружины.

В конструкции фрезы, приведенной на рис. 2.42,з, применены вставка 3 и упор 5, обеспечивающие базирование пластин 2 по трем точкам. Корпус 1 имеет прямолинейный паз с разбоями отверстиями для крепления вставки 3 и клиньев 6 и 8, причем клин 6 служит для крепления пластины 2, а клин 8 — для крепления упора 5. При окончательной сборке за счет перемещения упора 5 вдоль паза обеспечивается биение пластин по торцу в пределах 0,01 мм. Лучшей технологичностью обладают фрезы с составным корпусом, предусматривающим применение кольца с пазами и креплением пластин подпружиненным клином (рис. 2.42,и). Конструкция обеспечивает быстросменность пластин с помощью рычага.

При проектировании торцовых фрез, оснащенных многогранными пластинами угол наклона пластины ω и смещение E паза под пластину или державку ножа рассчитывают так, чтобы получить на режущих лезвиях заданные главный α и вспомогательный α_1 задние углы.

Угол ω определяют по формуле $\operatorname{tg} \omega = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma_{11} \cos \gamma_1}$, а углы γ_1 и γ_{11} определяют по формулам (2.7) и (2.8).

На рис. 2.41,в приведена расчетная схема для определения смещения E опорной поверхности державки относительно оси фрезы для случая, когда пластину устанавливают на державке.

Смещение вершины зуба A относительно оси 1 фрезы $e = r_a \sin \gamma_1$, $E_1 = H - b \sin \omega - e$, где H — высота державки; b — длина проекции пластины на плоскость чертежа. Если пластину устанавливают в корпус инструмента, то смещение паза относительно оси корпуса $E = e - C \cos \omega$, где C — толщина пластины.

Торцовые фрезы, оснащенные композитом. Фрезы, оснащенные композитом различных марок, обеспечивают возможность обработки закаленных до твердости 60—64 HRC, сталей со скоростями

резания 80—120 м/мин, подачи на оборот до 0,12 мм/об при глубине резания до 1 мм. Обработку заготовок из чугунов можно производить со скоростью резания до 600 м/мин. Обработка фрезами заготовок из чугуна и сталей может заменить шлифование.

Фрезы оснащают либо многогранными пластинами из композита, либо вставками, оснащенными композитом. На рис. 2.43 приведена конструкция фрезы с механическим креплением составных вставок. Ножи 1 расположены в корпусе 3 под углом 10° по отношению к оси фрезы и закреплены винтом 4 и втулкой 5 с угловой лыской. При завинчивании винта эта втулка заклинивает вставку. Винты 2 обеспечивают точность регулирования вылета вставок до 0,1 мм перед заточиванием.

Наборы фрез. Наборы фрез применяют для обработки деталей, имеющих несколько поверхностей с прямолинейными или криволинейными образующими. Они обеспечивают повышение точности обработки и производительности труда за счет одновременной обработки всех поверхностей. На-

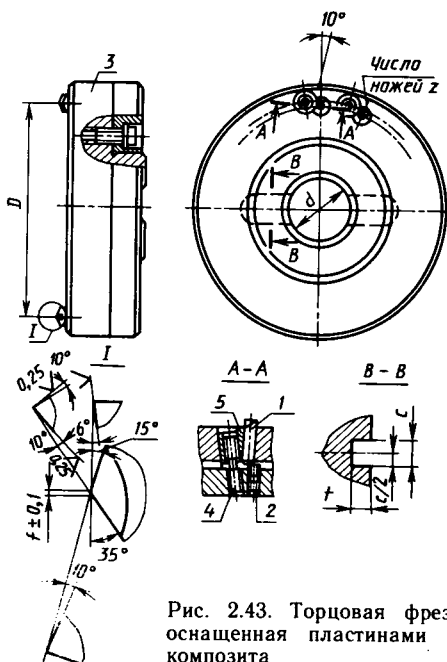


Рис. 2.43. Торцовая фреза, оснащенная пластинами из композита

бор представляет собой (рис. 2.44,а) группу фрез, подобранных по профилю и размерам обрабатываемых поверхностей деталей и закрепленных на одной оправке. Наборы фрез применяют на вертикально-фрезерных, продольно-фрезерных станках и автоматических линиях, но наибольшее распространение получили они при использовании на горизонтально-фрезерных станках.

Точность взаимного расположения фрез на оправке и соблюдение требуемого расстояния между ними обеспечивается установочными кольцами различной ширины. Ширину колец определяют с учетом погрешности изготовления фрез по ширине и с учетом изменения размеров после переточки. Кольца могут быть регулируемые и нерегулируемые. Размеры колец по диаметру зависят от диаметра оправки и конструктивного оформления торцов рядом расположенных фрез.

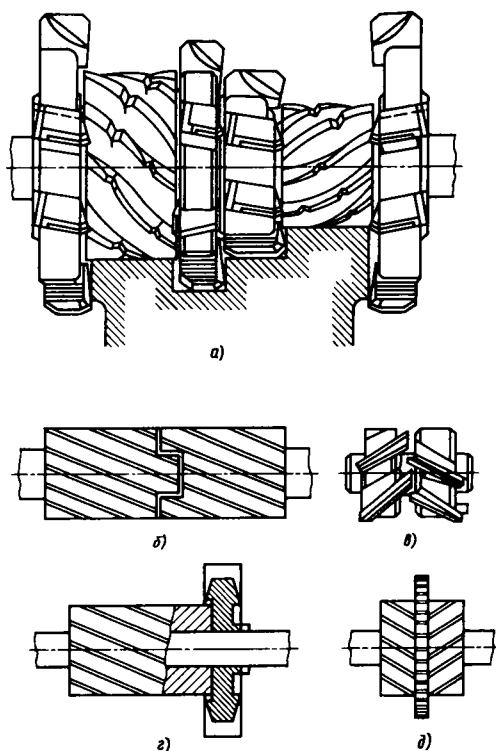


Рис. 2.44. Набор фрез (а) и способы их соединения (б—д)

Перекрывание зубьев фрез по ширине набора может осуществляться следующими способами: с помощью торцовых кулачковых выступов (рис. 2.44,б), входящих в соответствующие пазы соседней фрезы; расположения выступающих из корпуса фрезы зубьев сборной фрезы во впадинах сопряженной фрезы (рис. 2.44,в). Для фрез разных диаметров на торце большей фрезы делают кольцевую выточку, куда входит фреза меньшего диаметра (рис. 2.44,г) или ограничиваются (для тонких фрез) поднутрением торца большей фрезы и торец меньшей фрезы упирается в торец большей (рис. 2.44,д).

Плавная работа набора обеспечивается расположением зубьев фрез так, чтобы зубья соседней фрезы располагались против впадины предыдущей. Это достигается расположением шпоночных пазов под различными углами относительно вершины зуба фрез. В результате зубья отдельных фрез входят в работу в различные моменты времени, и весь набор образует как бы одну фрезу с винтовым зубом. Направление зубьев у фрез набора следует выбирать так, чтобы за счет их разного направления либо компенсировать осевую силу, либо обеспечить ее направление в сторону шпинделя.

Точность расположения обрабатываемых поверхностей по высоте достигается назначением допусков не на диаметры фрез набора, а на разность их радиусов. При проектировании набора фрез предварительно выбирают диаметр наименьшей фрезы, а диаметры других фрез определяют исходя из размеров и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей.

Диаметр наименьшей фрезы можно рассчитывать по формуле (2.20) при следующих допущениях: ширину фрезерования B выбирают равной суммарной ширине фрезерования всех участков профиля детали; глубину резания выбирают равной средней глубине резания для обрабатываемых поверхностей. Диаметр посадочного отверстия рассчитывают по формуле (2.24) и учитывают одновременную работу всех фрез набора.

После определения размеров всех фрез набора необходимо проверить выбранный

диаметр оправки на прочность и жесткость. Для этого определяют силы резания и крутящий момент для каждой из фрез, строят расчетную схему оправки и эпюры моментов, определяют эквивалентный момент

$$M_z = \sqrt{M_{кр}^2 + M_y^2 + M_z^2},$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент; M_y — изгибающий момент относительно оси Y ; M_z — изгибающий момент относительно оси Z . Уточненный диаметр оправки

$$D_0 = \sqrt[3]{11,3 M_z \sigma},$$

где σ — допускаемое напряжение материала оправки.

Фасонные фрезы имеют фасонную производящую поверхность, на которой расположены зубья. Форма и размеры производящей поверхности зависят от формы и размеров обрабатываемой поверхности, кинематики процесса фрезерования и расположения оси фрезы относительно детали. Фасонные фрезы широко используют в промышленности как на универсальных, так и на специальных фрезерных станках. Они обеспечивают высокую производительность, потому что сложный профиль детали обрабатывается сразу по всему периметру. Фасонными фрезами обрабатывают поверхности с прямолинейной направляющей, винтовые поверхности, тела вращения, например шейки коленчатых валов, причем в данном случае процесс точения заменен на более производительный процесс фрезерования. Фасонные фрезы применяют как затылованные, так и острозаточенные. Первые перетачивают по передней поверхности, вторые — по задней поверхности по копиру с применением специальных приспособлений.

Фрезы с затылованными зубьями имеют форму задней поверхности лезвия, обеспечивающую постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности. Они получили широкое распространение в промышленности, их применяют в основном для обработки деталей фасонного профиля. Некоторые типы фрез с затылованными зубьями стандартизованы: фрезы полукруглые с выпуклым и вогнутым профилем, фрезы

пазовые, фрезы дисковые зуборезные, фрезы червячные зуборезные и для обработки шлицевых валов, резьбовые гребенчатые и др. Кроме того, в промышленности применяют большое количество фрез специального назначения, проектируемых для обработки специальных изделий.

Фрезы затылованные делят на две группы: со шлифованным и нешлифованным профилем. Фрезы со шлифованным профилем применяют в тех случаях, когда требуется высокая точность профиля детали, например червячные зуборезные и шлицевые, резьбовые гребенчатые.

У фрез с нешлифованным профилем после термической обработки возникают погрешности профиля, связанные с деформированием как самих зубьев, так и корпуса фрезы. Кроме того, на задней поверхности зубьев имеется обезуглероженный слой. Таким образом, фрезы с нешлифованным профилем имеют не только пониженную точность, но и пониженную стойкость.

При переточках фрез с затылованными зубьями с передней поверхности зуба удаляется в 4—5 раз больший слой металла, чем при заточке острозаточенных фрез по задней поверхности. Фрезы с затылованными зубьями имеют меньшее число зубьев по сравнению с острозаточенными, а следовательно, они менее производительны.

Кривые затылования должны обеспечивать получение положительных задних углов в любой точке лезвия и неизменность профиля фрезы после переточек. Кроме того, выбранная кривая для затылования должна обеспечивать простоту изготовления кулачка, а сам кулачок должен быть универсальным, пригодным для затылования зубьев фрез независимо от их диаметра и числа зубьев. В качестве кривых для затылования могут быть использованы архимедова спираль, прямая, окружность и др., однако только архимедова спираль удовлетворяет перечисленным выше требованиям, так как для нее приращение радиуса-вектора прямо пропорционально приращению полярного угла. Профиль кулачка можно обрабатывать на любом станке, у которого согла-

сованы вращательное и поступательное движения.

В процессе изготовления фрез задняя поверхность их создается методом обработки, называемым затылованием. Режущим инструментом при этом служит затыловочный резец или шлифовальный круг. Передняя поверхность затыловочного резца располагается в осевой плоскости обрабатываемой фрезы. Передний угол резца делают равным нулю, а задний угол увеличивают по сравнению с обычными фасонными резцами на величину заднего угла при вершине зуба фрезы.

На практике применяются три способа затылования: радиальное, при котором затыловочный резец перемещается перпендикулярно оси фрезы; угловое, при котором резец перемещается под некоторым углом к оси фрезы; осевое, при котором резец перемещается параллельно оси фрезы. Наибольшее применение имеют радиальное и угловое затылование.

Радиальное затылование. Схема затылования приведена на рис. 2.45. В процессе затылования кулачок 2 делает один оборот при повороте фрезы на $1/z$ часть окружности. При этом затыловочный резец 1 перемещается в направлении оси фрезы. Такое затылование называется радиальным. Максимальный подъем спирали на кулачке равен величине затылования фрезы, которая может быть определена из треугольника ABC : $AB = \pi d_a / z$, а угол ABC равен заданному заднему углу на вершине зуба фрезы.

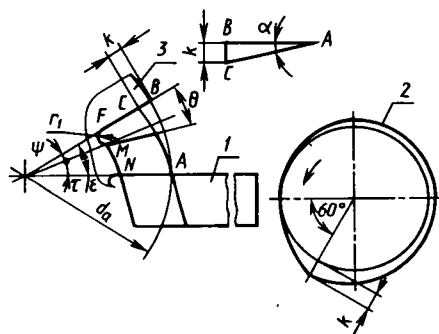


Рис. 2.45. Схема радиального затылования зуба фрезы:

1 — затыловочный резец; 2 — кулачок; 3 — зуб фрезы

Величина затылования

$$k = \frac{\pi d_a}{z} \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.35)$$

Значение k округляют до значения стандартного ряда.

Подъем спирали на кулачке (рабочий ход) обычно делают на угле 300° , а спад спирали (вспомогательный ход) на угле 60° . При повороте кулачка на 300° задняя поверхность фрезы должна быть обработана от точки N до точки M , а на участке от точки M до точки F резец должен вернуться в исходное положение, т. е. расположиться перед передней поверхностью следующего зуба фрезы. Отношение вспомогательного хода кулачка к рабочему ходу составляет $60/300$, т. е. $1/5$. Вспомогательный ход кулачка должен осуществляться при повороте фрезы от точки M до точки F , т. е. при повороте фрезы на угол ψ , а рабочий ход — при повороте фрезы на угол $\tau = \varepsilon - \psi$, где $\varepsilon = 360/z$.

Для того чтобы гарантировать обработку зуба от точки N до точки F , рабочий ход кулачка должен начинаться перед точкой N и закончиться после обработки точки M , т. е. должен быть обеспечен перебег резца. Для обеспечения полной обработки профиля отношение углов ψ/τ должно быть не $1/6$, а несколько большим, удовлетворяющим условию $\psi = \varepsilon/5$. Это отношение учитывается при проектировании затылованных фрез, при определении радиуса r_1 закругления дна впадины между зубьями и угла профиля стружечной канавки.

При радиальном затыловании значение k , рассчитанное для точки максимального диаметра, откладывают во всех сечениях профиля фрезы, перпендикулярных к ее оси. Для всех точек профиля, имеющих радиус r_x (рис. 2.46), меньший максимального (т. е. наружного) радиуса, радиальный задний угол будет больше угла α , принятого при расчете затылования. Для произвольного радиуса фрезы r_x радиальный задний угол α_{ix} рассчитывают по формуле $\operatorname{tg} \alpha_{ix} = r_a \operatorname{tg} \alpha / r_x$. Задний угол α_x в сечении, нормальном к режущей кромке, зависит от угла наклона φ_x

делить задние углы на диаметрах D_1 и D_2 фрезы:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{zS(\cos \tau \operatorname{tg} \varphi_1 + \sin \tau)}{\pi D};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{zS(\cos \tau \operatorname{tg} \varphi_2 + \sin \tau)}{\pi D_2};$$

Расчет конструктивных элементов фрез. Затылованные фрезы выполняют главным образом насадными, но применяют также и фрезы хвостовые, например резьбовые гребенчатые малых диаметров и червячные зуборезные для нарезания зубьев у колес червячных передач. На рис. 2.48 приведены конструктивные элементы затылованных фрез. При проектировании фрез рассчитывают диаметр посадочного отверстия D_0 , наружный диаметр d_a , высоту h_1 профиля фрезы, число зубьев z , радиус r_1 закругления дна впадины, величину затылования k , высоту H зуба, ширину B фрезы, угол впадины θ . При расчете величины затылования угол α принимают равным $10\text{--}12^\circ$. Обычно передний угол выбирают равным нулю для того, чтобы не делать коррекционного расчета профиля.

Для дисковых фасонных фрез конструктивные элементы рассчитывают по следующим формулам [37].

$$D_0 = 5,28h^{0,48}B^{0,15}, \quad (2.37)$$

где h — глубина фрезерования; B — ширина фрезерования.

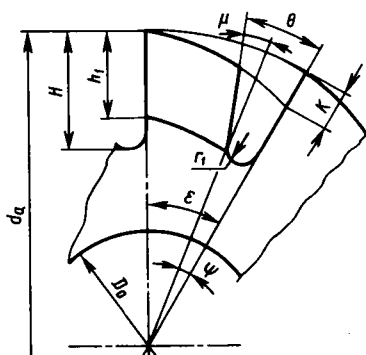


Рис. 2.48. Конструктивные элементы затылованной фрезы

Значение D_0 округляют до ближайшего стандартного размера;

$d_a = 2,5D_0$. Значение d_a округляют до ближайшего большего размера, оканчивающегося на 0 или 5 при диаметрах фрез до 100 мм и на 0 при диаметрах более 100 мм.

$$z = \frac{\pi d_a}{A h_1},$$

где A — коэффициент, $A = 1,8\text{--}2,5$ для черновых фрез и $A = 1,3\text{--}1,8$ для чистовых фрез. Значение z округляют до ближайшего целого числа, лучше четного.

$$r_1 = (d_a/2 - h_1 - k) \sin \varphi/2; \quad H = h_1 + k + r_1; \\ \theta = \varphi + \mu,$$

где $\mu = 15\text{--}20^\circ$ — угол, обеспечивающий прочность максимально переточенного зуба.

Ширину B рассчитывают в зависимости от характера профиля фрезы с учетом, что высота профиля зуба равна h_1 .

Затылованные фрезы с положительным передним углом применяют в тех случаях, когда необходимо увеличить стойкость фрезы и уменьшить шероховатость обработанной поверхности. Применение положительного переднего угла γ_b при вершине зуба вызывает необходимость произвести коррекционный расчет профиля, причем определяют высоту профиля h_{fx} для произвольного радиуса R_x в плоскости передней поверхности и высоту h_{fx} в осевом сечении. Первый расчет необходим для контроля точности профиля, второй — для его изготовления. Обозначим глубину профиля обрабатываемой точки x детали через h_{dx} (проекция 2 на рис. 2.49). Эта точка обрабатывается точкой x' профиля фрезы, расположенной на ее режущей кромке на расстоянии $R_x = r_a - h_{dx}$ от оси фрезы.

Для определения значений h_{fx} и h_{0x} из центра фрезы O проводим перпендикуляр к прямой AB , являющейся продолжением передней поверхности фрезы. Обозначим длину нормали OB через $m = r_a \sin \gamma_b$; $\sin \gamma_x = m/R_x$; $h_{fx} = r_a \cos \gamma - R_x \cos \gamma_x$; $h_{0x} = h_x - k_x$, где k_x — величина затылования для осевого сечения зуба фрезы, проходящего через точку x' ; $k_x = k \theta_x z / 360$, где k — величина затылова-

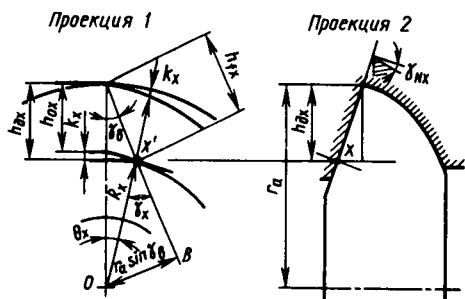


Рис. 2.49. Размеры профиля затылованной фрезы с положительным передним углом

ния фрезы; z — число зубьев, θ_x — угол, под которым расположена плоскость, проходящая через точку x' , $\theta_x = \gamma_x - \gamma_b$. Размеры зуба по ширине фрезы не изменяются. Для построения профиля радиуса R_x относительно осевой плоскости зуба в осевом сечении и в плоскости передней поверхности задают несколько радиусов R_x , для которых вычисляют высоты зубьев h_{yx} и h_{0x} .

У фрез с положительными передними углами значения передних углов в нормальном к профилю сечении переменны:

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nx} = \operatorname{tg} \gamma_b \sin \phi_x r_a / R_x.$$

Фрезы со шлифованным профилем. При шлифовании профиля диаметр шлифовального круга должен быть не менее 80 мм для того, чтобы обеспечить необходимую стойкость и запас на изнашивание круга. При этом необходимо, чтобы круг не срезал профиль следующего зуба. Для соблюдения этого условия шлифуют не всю ширину зуба, а оставляют часть ширины зуба нешлифованной (рис. 2.50).

На нешлифованной части зуба остается так называемая седловина (выступ), которая при переточках фрезы может касаться обработанной поверхности. Для того чтобы устранить седловину, фрезы подвергают двойному затылованию при $k_1 = (1, 2, \dots, 1, 5)k$. Двойное затылование может быть выполнено либо раздельно (со сменой кулачка), либо одним кулачком с двумя значениями спада k и k_1 . Профиль шлифовального круга определяют по сечению, перпендикулярному к задней поверхности фрезы [42].

Фасонные острозаточенные фрезы. Номенклатура острозаточенных фасонных фрез, применяемых в машиностроении, отличается большим разнообразием как конструктивного оформления, так и размеров. На рис. 2.51,а приведена конструкция цельных фрез с прямым зубом, применяемых для обработки прямых и винтовых канавок режущих инструментов. Для этих фрез характерны относительно небольшие размеры; диаметр до 110 мм и ширина до 30 мм. Широкие фрезы для улучшения равномерности фрезерования делают либо с наклонным (шириной 35—100 мм) (рис. 2.51,б), либо с винтовым (рис. 2.51,в) (шириной 70—240 мм) зубом. Иногда широкие фрезы делают составными (рис. 2.51,г) с разнонаправленными зубьями, а фрезы большого диаметра — сборными (рис. 2.51,д).

Острозаточенные фрезы по сравнению с затылованными обеспечивают более высокие производительность и стойкость вследствие большего числа зубьев и отсутствия обезуглероженного слоя, удаляемого заточкой задней поверхности по профилю. Заднюю поверхность затачивают на специальных приспособлениях по копиру с применением плоских кругов прямого (рис. 2.52,а), тороидального (рис. 2.52,б,в) и, иногда, фасонного профилей.

В зависимости от способа заточки задние углы по профилю фрезы могут быть

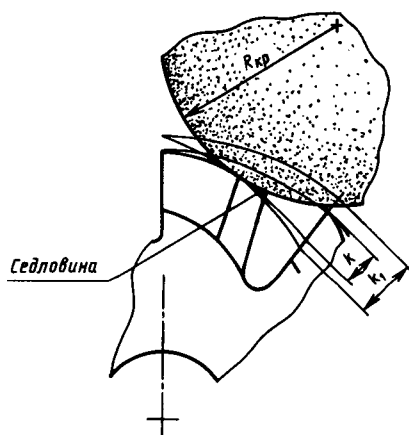


Рис. 2.50. Двойное затылование фрез со шлифованным профилем

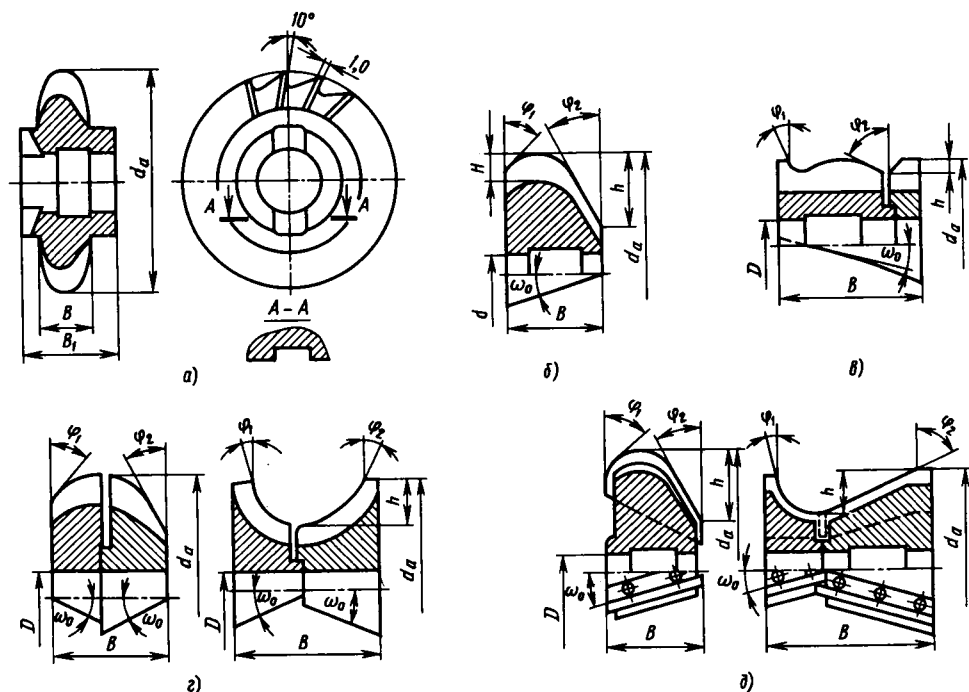


Рис. 2.51. Конструкции острозаточенных фасонных фрез

постоянными или переменными. Так, способ заточки, показанный на рис. 2.52, а и применяемый для фрез с прямым зубом с выпуклым профилем и углом $\gamma = 0$, обеспечивает получение постоянных задних углов в нормальных сечениях. Смещение оси круга h относительно оси

фрезы $h = r_a \sin \alpha$. Если угол $\gamma > 0$, то для различных точек профиля задний угол будет переменным. Постоянство задних углов обеспечивается и при заточке фрез тороидальным кругом (см. рис. 2.52, б), когда плоскость вращения круга перпендикулярна к профилю фрезы. Данную схему заточки применяют также для фрез выпуклого профиля.

На рис. 2.52, в приведена схема заточки фрез сложного профиля тороидальным кругом, плоскость вращения которого перпендикулярна к оси фрезы для любой точки профиля. Схема обеспечивает постоянство радиальных задних углов в плоскости вращения круга. В сечениях, нормальных к профилю фрезы, значения задних углов резко изменяются по длине режущей кромки: $\text{tg} \alpha_x = \text{tg} \alpha_{ix} \sin \varphi_x$, где α_{ix} — задний угол в радиальном сечении.

Расчет конструктивных элементов цельных острозаточенных фрез приведен в гл. 3.

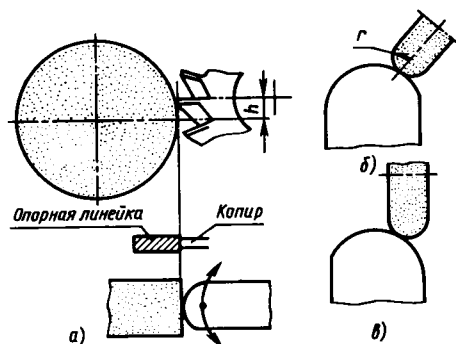


Рис. 2.52. Схемы заточки острозаточенных фасонных фрез

§ 2.4. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Отверстия, применяемые в деталях машин, различают по форме поперечного и продольного сечения, размерам, требуемой точности и качеству (параметрам шероховатости) обработанной поверхности. Отверстия могут быть сквозные и глухие, не имеющие выхода с другой стороны детали. Отверстия образуют как в целом материале, так и обрабатывают предварительно имеющиеся с целью увеличения их диаметров, изменения формы, повышения точности, параметра шероховатости и др. Наиболее распространены в машиностроении круглые цилиндрические отверстия с прямой осью.

Траектория движения главной режущей кромки при обработке отверстий, за исключением протягивания, рассмотренного в параграфе 2.2, образуется в результате сложения двух движений: вращения инструмента вокруг своей оси — главного движения D_r и поступательного перемещения вдоль нее — движения подачи D_s (рис. 2.53).

Угол подъема η_y винтовой траектории результирующего движения резания в точке y главной режущей кромки инструмента для обработки отверстий выражается уравнением

$$\operatorname{tg} \eta_y = \frac{S_0}{\pi d_y}, \quad (2.38)$$

где S_0 — подача на оборот.

Кинематический задний угол α_{ky} в произвольной точке y главной режущей кромки зуба инструмента определяется как угол, заключенный между винтовой траекторией результирующего движения резания и касательной, проведенной в точке y к линии $y'-y''$ пересечения задней поверхности с цилиндром радиуса r_y :

$$\alpha_{ky} = \alpha_y - \eta_y. \quad (2.39)$$

Это необходимо учитывать при выборе значений задних углов.

Одноплоскостная форма задней поверхности лезвия не всегда может быть применена из-за возможного задевания ею образованной поверхности отверстия (рис. 2.54, а). Во избежание этого приходится

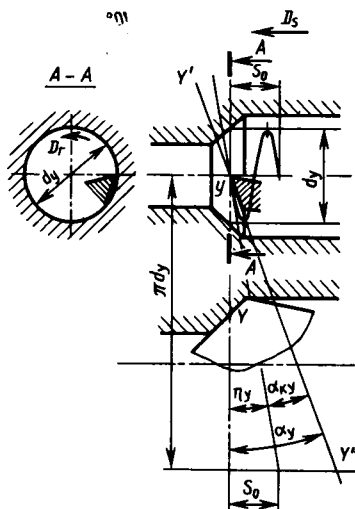


Рис. 2.53. Траектория движения режущей кромки при обработке отверстия

или увеличивать значение заднего угла (рис. 2.54, б), или уменьшать длину задней поверхности, или применять для ее образования ломаную (рис. 2.54, в) или криволинейную (рис. 2.54, г) форму задней поверхности лезвия.

Крепление хвостовика инструмента в приспособлении или станке может быть осуществлено только за пределами полностью обработанного отверстия. Для обеспечения этого обычно требуется удлинение крепежной части инструмента, что приводит к уменьшению его жесткости.

При обработке отверстий стружка отводится в весьма ограниченном пространстве между образованным отверстием и крепежной частью инструмента, обычно только в сторону хвостовика инструмента. Это обязательно при образовании отверстий в целом материале и при

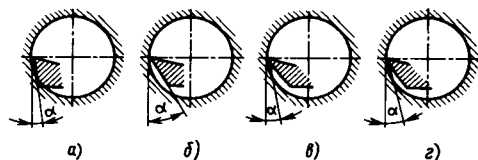


Рис. 2.54. Выбор формы задней поверхности у инструмента для обработки отверстия

обработке глухих отверстий. Путь удаления стружки при этом значительно увеличивается. Для отвода стружки требуется делать специальные канавки на корпусе инструмента — его крепежной части, что уменьшает прочность и жесткость инструмента. Исходя из сказанного, при обработке отверстий необходимо снижать режимы резания по сравнению с режимами, применяемыми при наружной обработке.

Сверло — осевой режущий инструмент для образования отверстий в сплошном материале и увеличения диаметра имеющегося отверстия (ГОСТ 25751—83). Сверла являются одним из самых распространенных видов инструментов. В промышленности применяют сверла: спиральные, перовые, одностороннего резания, эжекторные, кольцевого сверления, а также специальные комбинированные. Сверла изготавливают из легированной стали 9ХС, быстрорежущих сталей Р6М5 и др., и оснащенные твердым сплавом ВК6, ВК6-М, ВК8, ВК10-М и др.

Спиральные сверла. Спиральные сверла имеют наибольшее распространение и состоят из следующих основных частей: режущей, калибрующей или направляющей, хвостовой и соединительной. Главные режущие кромки сверла (рис. 2.55,а) прямолинейны и наклонены к оси сверла под главным углом в плане ϕ . Режущая и калибрующая части сверла составляют ее рабочую часть, на которой образованы две винтовые канавки, создающие два зуба, обеспечивающие процесс резания. На рабочей части сверла (рис. 2.55,б) имеется шесть лезвий [7]: два главных ($1-2$ и $1'-2'$), два вспомогательных ($1-3$ и $1'-3'$), расположенных на калибрующей части сверла, которая служит для направления в процессе работы и является припуском на переточку, и два на перемычке ($0-2$ и $0-2'$). Эти лезвия расположены на двух зубьях и имеют непрерывную пространственную режущую кромку, состоящую из пяти разнонаправленных отрезков ($3-1$, $1-2$, $2-2'$, $2'-1'$, $1'-3'$).

Для уменьшения трения об образованную поверхность отверстия и уменьшения теплообразования в процессе работы сверло на всей длине направляющей части

имеет занижение по спинке с оставлением у режущей кромки ленточки шириной 0,2—2 мм в зависимости от диаметра сверла. Ленточки обеспечивают направление сверла в процессе резания, и только в начале, на длине, равной 0,5 значения подачи, они работают в качестве вспомогательной режущей кромки. Для уменьшения трения при работе на ленточках делают утонение по направлению к хвостовику (обратная конусность 0,03—0,12 мм по диаметру на 100 мм длины). Размер утонения зависит от диаметра сверла.

Спиральные сверла из быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком изготавливают диаметром от 1 до 20 мм. В зависимости от длины рабочей части сверла делят на короткую (ГОСТ 4010—77), среднюю (ГОСТ 10902—77) и длинную (ГОСТ 886—77 и ГОСТ 12122—77) серии. Сверла с коническим хвостовиком изготавливают диаметром от 6 до 80 мм (ГОСТ 10903—77), удлиненные (ГОСТ 2092—77) и длинные (ГОСТ 12121—77). Мелкоразмерные сверла диаметром от 0,1 до 1,5 мм для увеличения прочности изготавливают с утолщенным цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 8034—76).

Быстрорежущие сверла диаметром свыше 6—8 мм делают сварными, хвостовики у этих сверл, а также хвостовики и корпуса у сверл, оснащенных твердым сплавом, изготавливают из стали 45, 40Х, кроме того, для корпусов сверл, оснащенных твердым сплавом, применяют сталь 9ХС и быстрорежущие стали.

Режущая часть сверла. Производительность и стойкость сверла во многом зависят от значения главного угла в плане ϕ . Подобно главному углу в плане проходного резца, угол ϕ сверла влияет на составляющие силы резания, длину режущей кромки и элементы сечения стружки. Обычно на чертежах сверл указывают значение угла при вершине 2ϕ . С увеличением угла при вершине сверла уменьшается активная длина режущей кромки и увеличивается толщина срезаемого слоя, при этом увеличиваются силы, действующие на единицу длины режущей кромки, что вызывает повышенное изнашивание сверла. При увеличении угла 2ϕ

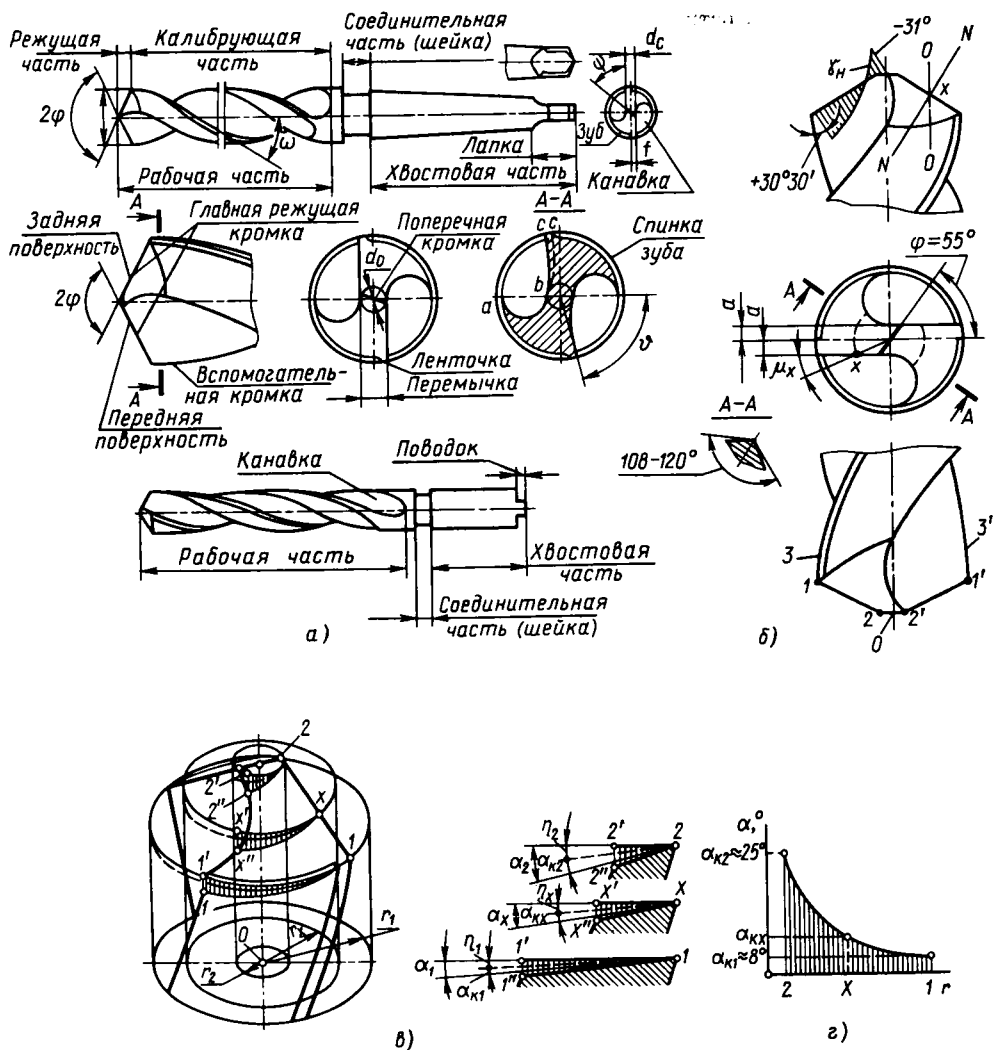


Рис. 2.55. Конструктивные элементы спирального сверла

сечение срезаемого слоя остается неизменным, степень его деформации уменьшается, суммарная составляющая силы резания, определяющая крутящий момент, падает. Суммарная осевая сила резания сверла при увеличении угла 2ϕ возрастает. Это объясняется изменением положения относительно оси сверла плоскости $N-N$, перпендикулярной к режущей кромке, при этом часть сил, действующих на режущую кромку сверла, взаимно уравновешивается.

Передние углы на поперечной режущей кромке при увеличении угла 2ϕ уменьшаются, что ухудшает внедрение этой кромки в материал заготовки и приводит к возрастанию осевых сил при сверлении, при этом возрастает опасность появления продольного изгиба сверла. Увеличение угла при вершине 2ϕ приводит к более плавному изменению передних углов вдоль главной режущей кромки, что улучшает режущие способности сверла и облегчает отвод стружки [36].

Опыты показывают, что при уменьшении угла 2φ от 140° до 90° осевая составляющая силы резания снижается на 40—50%, а крутящий момент увеличивается на 25—30%.

Рекомендуемые на основании экспериментальных данных и производственного опыта значения угла 2φ при обработке заготовок из различных материалов приведены ниже.

Материал заготовки	Угол 2φ , °
Сталь конструкционная и инструментальная	116—120
Сталь коррозионно-стойкая высокопрочная, жаропрочные сплавы	125—150
Чугун средней твердости, бронза твердая	90—100
Чугун твердый	120—125
Латунь, алюминиевые сплавы, баббит	130—140
Медь	125
Пластмасса	80—110
Мрамор	80—90

Передний угол главных режущих кромок сверла определяется в осевом γ или нормальном к режущей кромке γ_n сечениях. При отсутствии подточки по передней поверхности передний угол в осевом сечении для каждой точки режущей кромки зависит от угла наклона винтовой канавки, проходящей через эту точку:

$$\operatorname{tg} \omega_x = r_x \operatorname{tg} \omega / r, \quad (2.40)$$

где ω_x — угол наклона винтовой канавки в данном сечении; r_x — радиус, на котором определяют угол наклона винтовой канавки; r — наружный радиус сверла; ω — угол наклона винтовой канавки на наружном диаметре.

Передний угол в нормальном сечении для заданной точки x при смещении режущей кромки относительно оси симметрии канавок сверла, может быть определен по формуле, выведенной П. Р. Родиным [36]:

$$\operatorname{tg} \gamma_{nx} = \operatorname{tg} \omega_x \frac{1 - \sin^2 \mu_x \sin^2 \varphi}{\sin \varphi \cos \mu_x} - \operatorname{tg} \mu_x \cos \varphi, \quad (2.41)$$

где μ_x определяют из выражения $\sin \mu_x = a/r_x$; a — смещение главной режущей кромки относительно оси симметрии сверла; r_x — радиус сверла, на котором находится рассматриваемая точка.

Для режущих кромок сверла, расположенных на оси симметрии канавок, т. е. при $a=0$, формула принимает такой вид:

$$\operatorname{tg} \gamma_{nx} = \operatorname{tg} \omega_x / \sin \varphi. \quad (2.42)$$

Как видно из этой формулы, передние углы переменны по длине режущей кромки. Передний угол имеет максимальное значение в точке, расположенной у наружного диаметра, и уменьшается, доходя до отрицательных значений у поперечной кромки сверла.

Угол наклона винтовых канавок сверла ω , задаваемый по наружному диаметру, оказывает большое влияние на прочность и жесткость сверла и отвод стружки. С увеличением угла ω увеличивается передний угол, облегчается процесс резания, улучшается отвод стружки, повышается жесткость сверла на кручение, но снижается жесткость в осевом направлении. Влияние угла ω на снижение крутящего момента и осевой составляющей силы резания резко сказывается при увеличении угла ω до 25 — 35° . При дальнейшем увеличении угла ω силы резания практически не уменьшаются, но происходит ослабление прочности лезвия у периферии сверла. Во избежание этого следует производить подточку по передней поверхности под углом, меньшим ω . Для обычных серийно выпускаемых сверл диаметром до 10 мм $\omega = 25$... 28° , для сверл больших диаметров $\omega = 30$... 35° .

Международная организация по стандартизации ISO рекомендует три типа сверл: сверла типа Н, предназначенные для обработки хрупких материалов (чугуна, бронзы, латуни) с $\omega = 10$... 16° ; сверла типа N для обработки большой группы материалов, образующих элементную стружку с $\omega = 25$... 35° ; сверла типа W для обработки вязких материалов (алюминия, меди, дюралюминия и др.) с $\omega = 35$... 45° . Иногда вместо угла ω указывают шаг винтовой канавки $P_z = \pi d / \operatorname{tg} \omega$, где d — наружный диаметр сверла.

Передние углы на поперечной режущей кромке имеют большие отрицательные значения (до -60°). Ввиду этого поперечная режущая кромка не режет, а вдавливаются в металл и скоблит дно отверстия, расходуя при этом до 65%

осевой составляющей силы резания и около 15% крутящего момента.

Задний угол образуется на режущей части сверла на главных и поперечных режущих кромках и находится между касательной к задней поверхности в данной точке режущей кромки и касательной в той же точке к траектории ее вращения вокруг оси сверла (рис. 2.55,в). Задние углы измеряют или в плоскости NN нормальной к режущей кромке (угол α_n) или в плоскости OO , параллельной оси сверла (угол α_o) (рис. 2.55,б). Зависимость между углами α_n и α_o может быть выражена формулой

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_o \sin \varphi. \quad (2.43)$$

Кинематический задний угол $\alpha_{кх}$ в некоторой точке x главного режущего лезвия зуба сверла определяют как угол между винтовой траекторией результирующего движения резания и касательной, проведенной в точке x к линии $x-x''$ пересечения задней поверхности сверла с цилиндром радиуса r_x (рис. 2.55,в):

$$\alpha_{кх} = \alpha_x - \eta_x, \quad (2.44)$$

где η_x определяют из выражения

$$\operatorname{tg} \eta_x = S_o / (2\pi r_x). \quad (2.45)$$

Эпюра изменения значений кинематического заднего угла α_k вдоль главной

режущей кромки 1—2 сверла показана на рис. 2.55,в. На рис. 2.55,г показано изменение кинематического заднего угла вдоль режущей кромки. Кинематический задний угол $\alpha_{кх}$ тем больше, чем больше заточенный задний угол α , и тем меньше, чем больше угол подъема винтовой траектории η , т. е. чем больше подача S_o и меньше радиус r_x , на котором лежит рассматриваемая точка режущего лезвия [7].

Для получения близких по значению углов заострения вдоль режущей кромки и обеспечения достаточного значения заднего угла в процессе резания задний угол делают переменным вдоль режущей кромки. На периферии он равен 8—14°, а у сердцевин 20—25° в зависимости от диаметра сверла. Технологически наиболее простым является оформление задней поверхности по плоскости (рис. 2.56,а). Однако при этом способе для обеспечения достаточного зазора между задней поверхностью и поверхностью резания необходимо иметь задние углы не менее 20—25°, кроме того нельзя получить значения заднего угла и угла наклона поперечной кромки, не зависящие от угла при вершине сверла и заднего угла на периферии. Недостатком сверл с одноплоскостной формой задней поверхности является также прямолинейная поперечная кромка, которая при работе без кондуктора не обеспечивает правильного центрирования сверла.

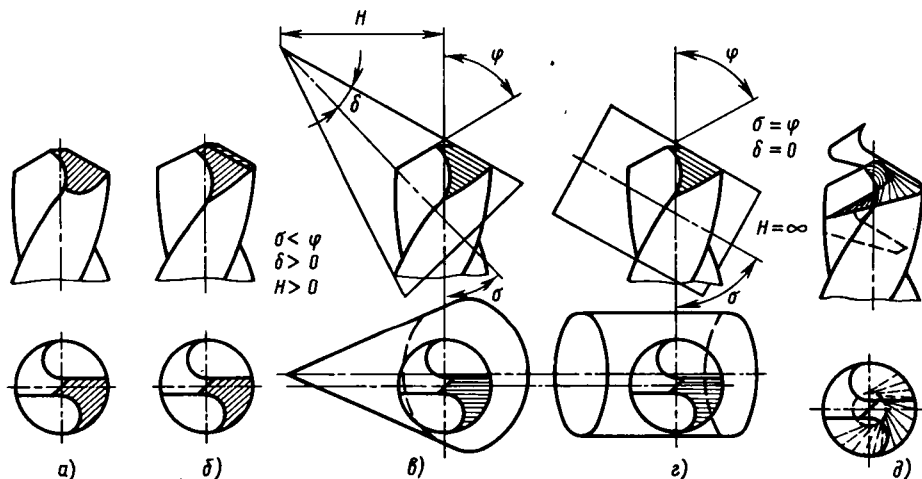


Рис. 2.56. Форма задней поверхности у сверл

2.2. Геометрические параметры сверл с разной заточкой

Форма задней поверхности	Задний угол, °		Относительный спад задней поверхности q^*/D	Параметры поперечной кромки	
	на периферии	вблизи сердцевины		Передний угол γ_n°	Относительная стрела выпуклости f/D до
Коническая	10	29	0,1—0,15	—(48...53)	0,01
Двухплоскостная	10	27	0,15—0,20	—(46...48)	0,02
Винтовая	10	32	0,04—0,06	—(34...38)	0,02

* q — величина спада задней поверхности зуба на наружном диаметре.

Двухплоскостная форма задней поверхности сверл (рис. 2. 56,б) позволяет получить независимые значения заднего угла на периферии, угла при вершине и угла наклона поперечной кромки. Этот результат может быть получен также при конической, цилиндрической и винтовой форме задней поверхности (рис. 2.56,в—д). Коническая форма задней поверхности сверла является участком конической поверхности, ось которой параллельна проекции главной режущей кромки сверла на торцовую плоскость. Для образования задних углов вершина конуса должна быть смещена относительно оси сверла на величину, равную или больше радиуса перемычки, и ось конуса наклонена к продольной оси сверла под углом σ . Цилиндрическая часть задней поверхности сверла является участком цилиндрической поверхности. Этот метод редко применяют.

Винтовая часть задней поверхности сверла является развертывающейся винтовой поверхностью. Она позволяет (по сравнению с конической поверхностью) получить более рациональное распределение значений задних углов и более выпуклую поперечную кромку сверла, что улучшает самоцентрирование сверла при работе. У сверл с винтовой задней поверхностью увеличиваются значения задних углов на поперечной режущей кромке, что приводит к уменьшению осевых нагрузок по сравнению со сверлами, заточенными другими способами. Большим преимуществом винтовой заточки является возможность автоматизации процесса заточки.

Геометрические параметры сверл с разной заточкой при $2\varphi=118^\circ$ и $\psi=45...50^\circ$ приведены в табл. 2.2 (по

данным канд. техн. наук Л. Г. Дибнера и Ю. П. Шкурина).

На рис. 2.57 приведены графики, показывающие влияние метода заточки на осевую силу и температуру главных кромок. Как видно по этим графикам, оптимальным является винтовой метод заточки.

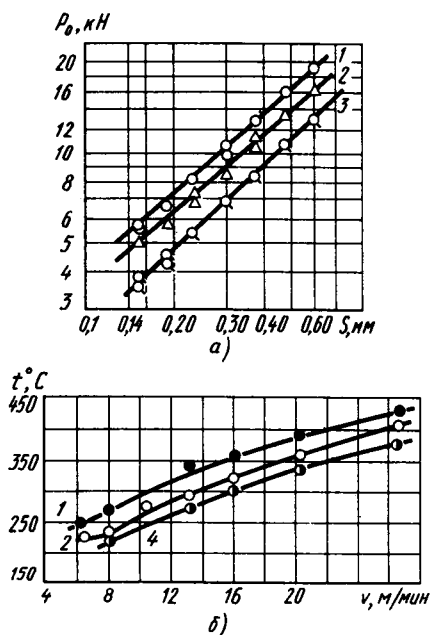


Рис. 2.57. Влияние метода заточки сверла: а — на осевую силу (диаметр сверла 27,7 мм); б — на температуру главных режущих кромок сверла (диаметр сверла 26 мм); 1 — коническая заточка; 2 — винтовая; 3 — двухплоскостная; 4 — расверливание сверлом с винтовой заточкой отверстия, диаметр которого равен длине поперечной режущей кромки (материал заготовки — сталь 45, $S_0=0,38$ мм/об)

Улучшение геометрических параметров сверл. Уменьшение передних углов при приближении к центру сверла, неблагоприятные геометрические параметры на поперечной кромке и ленточке, а также сильное изнашивание сверл при работе в месте перехода главной режущей кромки и вспомогательной приводят к необходимости улучшения их режущих свойств с помощью специальных подточек, а также применения более прогрессивных конструкций. Для снижения неравномерной загрузки на рабочей части применяют сверла с криволинейными режущими кромками, которые могут иметь либо полностью радиусный профиль, либо радиусный профиль, сопряженный с прямолинейным участком (рис. 2.58,а). Ввиду сложности

заточки таких сверл иногда заменяют криволинейную кромку ломаной, состоящей из двух участков с углом при вершине $116\text{--}120^\circ$, и дополнительной режущей кромкой на периферии под углом $2\varphi' = 70\text{--}75^\circ$, на участке длиной $0,2$ диаметра сверла (рис. 2.58,б).

Условия резания на поперечной режущей кромке улучшаются ее подточкой, которая в ряде случаев совмещается с подточкой передней поверхности. На рис. 2.58,в—е приведены основные формы подточек. Подточка, показанная на рис. 2.58, в, облегчает сход стружки, образующейся на поперечной режущей кромке. Центральную часть поперечной кромки длиной около $0,5$ мм не подтачивают. Недостатками этого вида подточки являются ее тру-

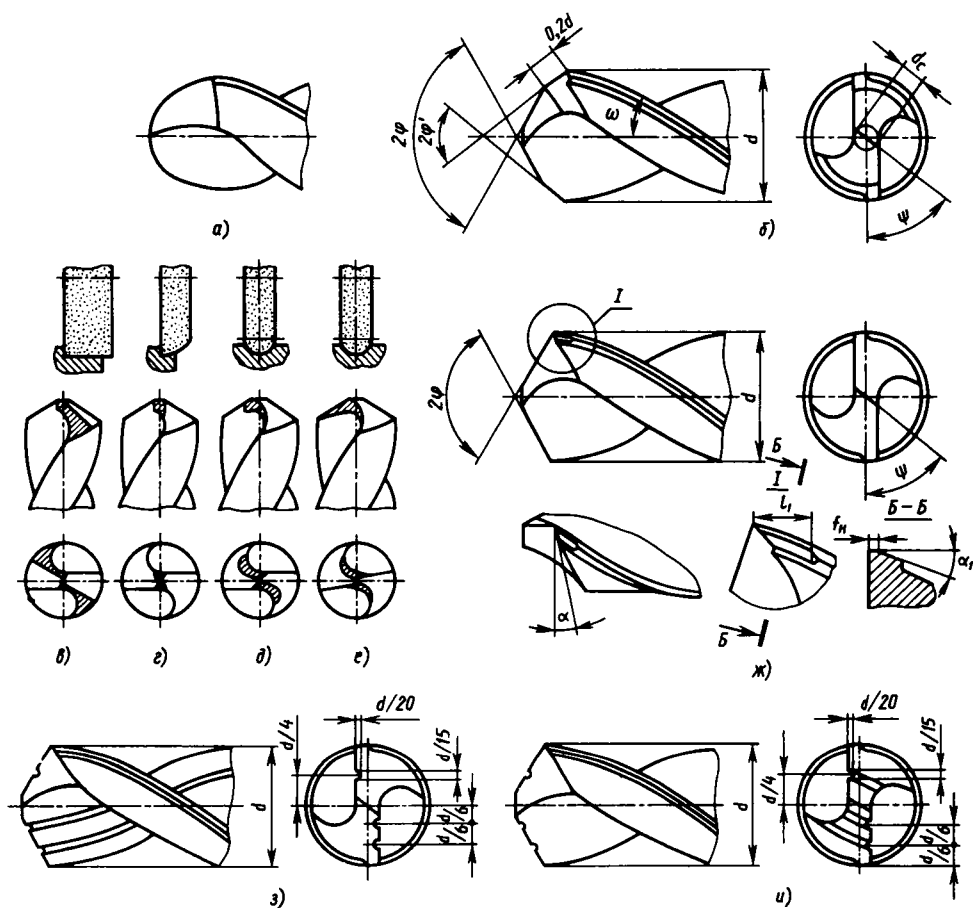


Рис. 2.58. Методы улучшения геометрических параметров рабочей части сверла

доемкость и снижение прочности режущей кромки. Эти недостатки снижаются при использовании для подточки фасонного круга (рис. 2.58,з). При подточке указанными способами длина поперечной кромки не изменяется. На рис. 2.58,д показана подточка для уменьшения длины поперечной кромки без коррекции передних углов на главной режущей кромке, на рис. 2.58,е—подточка с коррекцией передних углов, при которой возможно также создание стружколомающих порошков.

Для уменьшения трения при работе сверла кромку ленточки подтачивают на длине $l_1 = 1,5 \dots 4$ мм под углом $\alpha_1 = 6 \dots 8^\circ$ с сохранением фаски $f_n = 0,1 \dots 0,3$ мм (рис. 2.58,ж). Для облегчения отвода стружки, уменьшения теплообразования в зоне резания и повышения стойкости сверла на его передней или задней поверхности делают стружкоразделительные канавки (рис. 2.58,з, и). Выполнение стружкоразделительных канавок по передней поверхности (рис. 2.58,з) более трудоемко, однако в этом случае не требуется их периодического восстановления в процессе эксплуатации сверла.

Форма канавок. Основными элементами профиля канавки являются диаметр перемычки, ширина канавки, форма режущей кромки, кривые сопряжения. Диаметр перемычки d_0 выбирают в пределах $0,2 \dots 0,12$ диаметра сверла. Для сверл малых диаметров он увеличивается до $0,28$ диаметра сверла. Для повышения прочности диаметр перемычки увеличивается по направлению к хвостовику до $1,7$ мм на 100 мм длины. Ширину канавки принимают равной ширине пера или увеличивают центральный угол, на котором

она расположена, на $2 \dots 3^\circ$. Режущую кромку для стандартных сверл обычно выполняют прямолинейной, что облегчает ее контроль. Во избежание трещин при термической обработке и облегчения отвода стружки профиль канавки должен быть снабжен плавными закруглениями сопряженных участков. Канавки у сверл фрезеруют фасонными дисковыми фрезами, спрофилированными исходя из параметров обрабатываемого сверла (см. § 3.5). Профиль поперечного сечения сверла не регламентируется. На рис. 2.59 представлены наиболее распространенные в настоящее время профили поперечных сечений сверл. На рис. 2.59,а показан стандартный профиль сверла, недостатки которого в том, что его большая часть расположена у периферии сверла. Такой профиль обладает пониженным моментом сопротивления и пониженной жесткостью на кручение. Жесткость сечения на кручение $C = C_k G$, где C_k —геометрическая жесткость поперечного сечения сверла, мм^4 ; G —модуль упругости второго рода материала сверла, МПа.

Геометрическая жесткость сечения

$$C_k = \frac{F^4}{4\pi^2 I_p} \delta, \quad (2.46)$$

где F —площадь поперечного сечения, мм^2 ; I_p —полярный момент инерции сечения, мм^4 ; $\delta = 0,92$ —коэффициент [35].

Повышение жесткости на кручение может быть достигнуто двумя способами. Первым из них является создание у сверл перемычки наибольшего возможного размера и больших толщин участков профиля перьев у сердцевин сверла по сравнению с участками у периферии. Указанным соображениям соответствуют про-

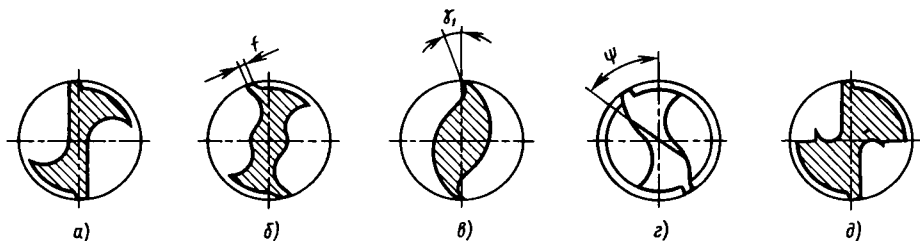


Рис. 2.59. Профили поперечных сечений сверл

фили сверл НПИЛ (Научно-производственная инструментальная лаборатория Куйбышевского политехнического института) (рис. 2.59,б) и шнековых сверл (рис. 2.59,в). На рис. 2.59,г показан профиль сверла с криволинейной режущей кромкой, за счет которой получают более одинаковые углы γ_n вдоль главной режущей кромки. На рис. 2.59,д показан профиль сверла с уступами в канавке вдоль главных режущих кромок, обеспечивающих лучшие условия для ломания и завивания стружки, что облегчает ее отвод из зоны резания.

Вторым способом повышения жесткости сверла на кручение является увеличение угла ω наклона винтовых канавок. По данным Сестрорецкого инструментального завода им. Воскова [57], жесткость на кручение сверл со стандартным профилем поперечного сечения при $\omega = 20^\circ$ в 1,2 раза превосходит жесткость на кручение стержня с $\omega = 0^\circ$ того же сечения, при $\omega = 30^\circ$ примерно в 1,5 раза, при $\omega = 40^\circ$ — в 1,8 раза. Таким образом, при неизменном сечении сверла за счет угла наклона винтовой канавки можно почти в 2 раза повысить жесткость сверла на кручение. Возникающее при этом снижение осевой жесткости сверла можно компенсировать незначительным увеличением диаметра сердцевин. Используя приведенные данные, можно за счет увеличения площади канавок, снижения площади поперечного сечения перьев и некоторого увеличения угла наклона винтовых канавок обеспечить увеличение пространства для размещения стружки при постоянной жесткости сверла. Поперечные сечения таких сверл приведены на рис. 2.59,б, в.

Твердосплавные сверла. Для сверления заготовок из чугуна, цветных металлов, пластмассы, мрамора, гранита и других неметаллических материалов применяют твердосплавные сверла. При сверлении заготовок из сталей эти сверла редко применяют из-за неустойчивости работы (полотки, выкрашивания и незначительного увеличения производительности при их эксплуатации).

Сверла диаметром от 5 до 30 мм оснащают пластинами или коронками из твердого сплава. Недостатками конструкции

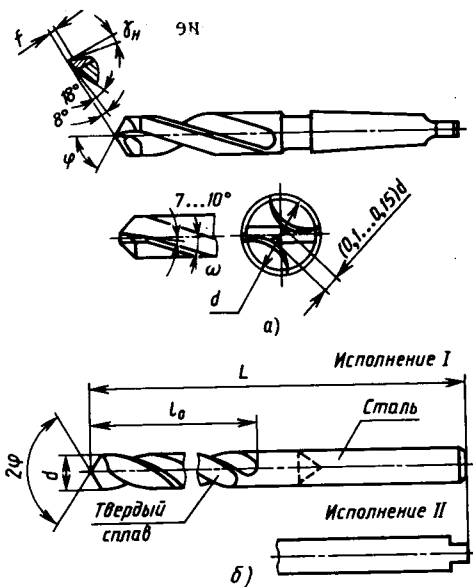


Рис. 2.60. Сверла, оснащенные пластинами из твердого сплава

сверл с напайной пластиной из твердого сплава (ГОСТ 22735—77 и ГОСТ 22736—77) (рис. 2.60,а) являются ослабление корпуса в месте расположения пластины и расположение места припайки пластины в зоне резания, что может приводить к их отпаиванию в процессе работы. Сверла с припаянными встык коронками из твердого сплава лишены этих недостатков. Длину коронки берут равной 1—2 диаметра сверла.

У твердосплавных сверл диаметром от 3 до 12 мм рабочую часть делают из твердого сплава и впаивают в стальной хвостовик (ГОСТ 17275—71) (рис. 2.60, б), сверла диаметром от 1,0 до 12 мм делаются целиком из твердого сплава (ГОСТ 17273—71, ГОСТ 17274—71 и др.).

Для успешной работы твердосплавных сверл необходимо обеспечить их повышенные прочность и жесткость по сравнению со сверлами из быстрорежущей стали, что обеспечивается увеличением диаметра сердцевин до 0,25 диаметра сверла. У сверл малых диаметров, предназначенных для сверления отверстий в труднообрабатываемых материалах, диаметр сердце-

вины может быть увеличен до 0,32—0,35 диаметра сверла с одновременным уменьшением длины рабочей части сверла и созданием на ней обратной конусности.

Угол наклона винтовых канавок у сверл выбирают равным 20° . Для сверл, обрабатывающих отверстия длиной свыше 3—4 диаметров сверла, угол наклона винтовых канавок должен быть увеличен до 45° — 60° . У сверл, оснащенных пластинами из твердого сплава, для создания более прочной опоры под пластиной переднюю поверхность корпуса на ее длине выполняют плоской с углом наклона 7° — 10° . На сверлах подтачивают перемычку, оставляя ее длину в пределах 0,1—0,15 диаметра сверла. По передней поверхности сверла делают подточку под углом $\gamma_n = 0 \dots 5^\circ$ в зависимости от материала заготовки.

На рис. 2.61 представлена конструкция сверла, оснащенного трехгранными твердосплавными пластинами. Сверла с такими пластинами изготавливают, начиная с диаметра 17,5 мм и выше, с прямыми канавками, в них делают специальные отверстия для подачи в зону резания смазывающе-охлаждающей жидкости. Для оснащения сверл применяют пластины 1 с положительными задними углами и отверстием, имеющим криволинейную обра-

зующую. Крепление и точная фиксация пластины в корпусе производится винтом 2 с конической головкой. Диаметр винта меньше диаметра отверстия пластины. При завинчивании винта коническая головка давит на криволинейную образующую пластины и фиксирует ее в корпусе сверла, при этом ось отверстия пластины смещается относительно оси винта. На передней поверхности пластин имеются стружколомающие канавки, обеспечивающие получение стружки малой длины, которая легко удаляется из канавок инструмента. Пластина, установленная на одном пере, обеспечивает рассверливание отверстия по центру, вторая пластина смещена к периферии сверла и образует отверстие требуемого диаметра.

Сверла этой конструкции эффективно применяют при обработке отверстий в заготовках из разных металлов, в том числе из углеродистых и легированных сталей. Так, при обработке отверстий в заготовках из углеродистых сталей с пределом прочности не более 800 МПа сверла работают при скорости 100—140 м/мин. Обладая высокой жесткостью и хорошей системой подачи СОЖ в зону резания, эти сверла позволяют вести обработку с повышенными подачами по сравнению со спиральными сверлами из быстрорежущей стали.

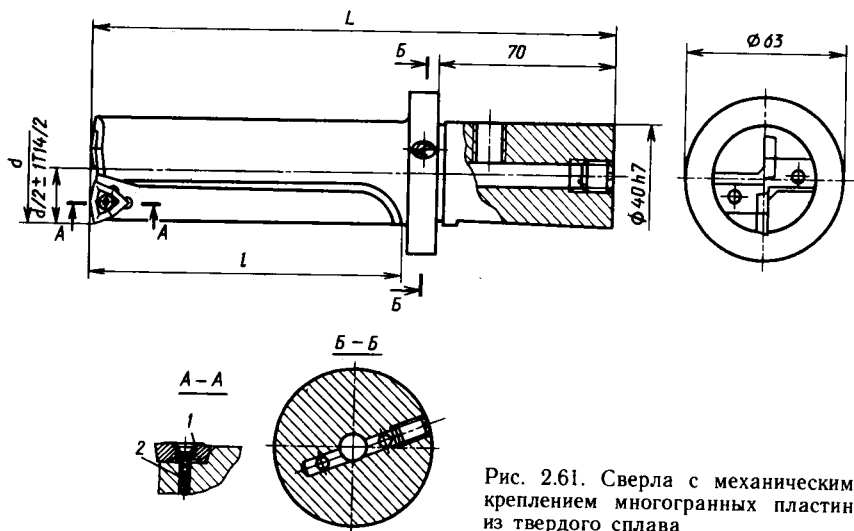


Рис. 2.61. Сверла с механическим креплением многогранных пластин из твердого сплава

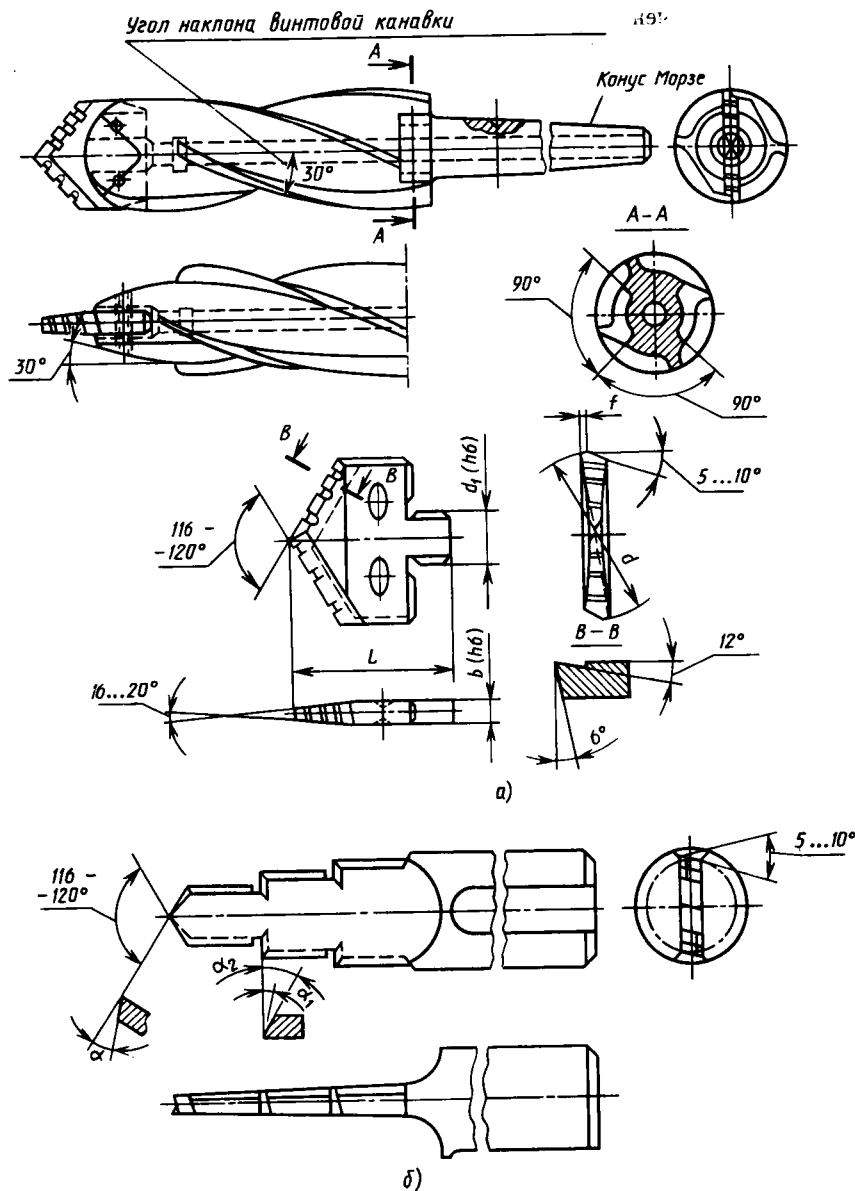


Рис. 2.62. Перовые сверла

Перовые сверла имеют более простую конструкцию по сравнению со спиральными. Режущую часть этих сверл выполняют в виде пластин из быстрорежущей стали или оснащают с пластинами из твердого сплава (рис. 2.62, а). Они обладают повышенной жесткостью, и их применяют для обработки поковок, ступенчатых и фасонных отверстий (рис. 2.62, б)

и отверстий малых диаметров (меньше 1—1,5 мм).

Сверла диаметром свыше 10 мм делают сварными или сборной конструкции. Угол при вершине сверла 2ϕ выбирают так же, как и для спиральных сверл. Угол наклона поперечной кромки обычно равен 55—60°. Для уменьшения трения калибрующая часть сверла имеют вспомогатель-

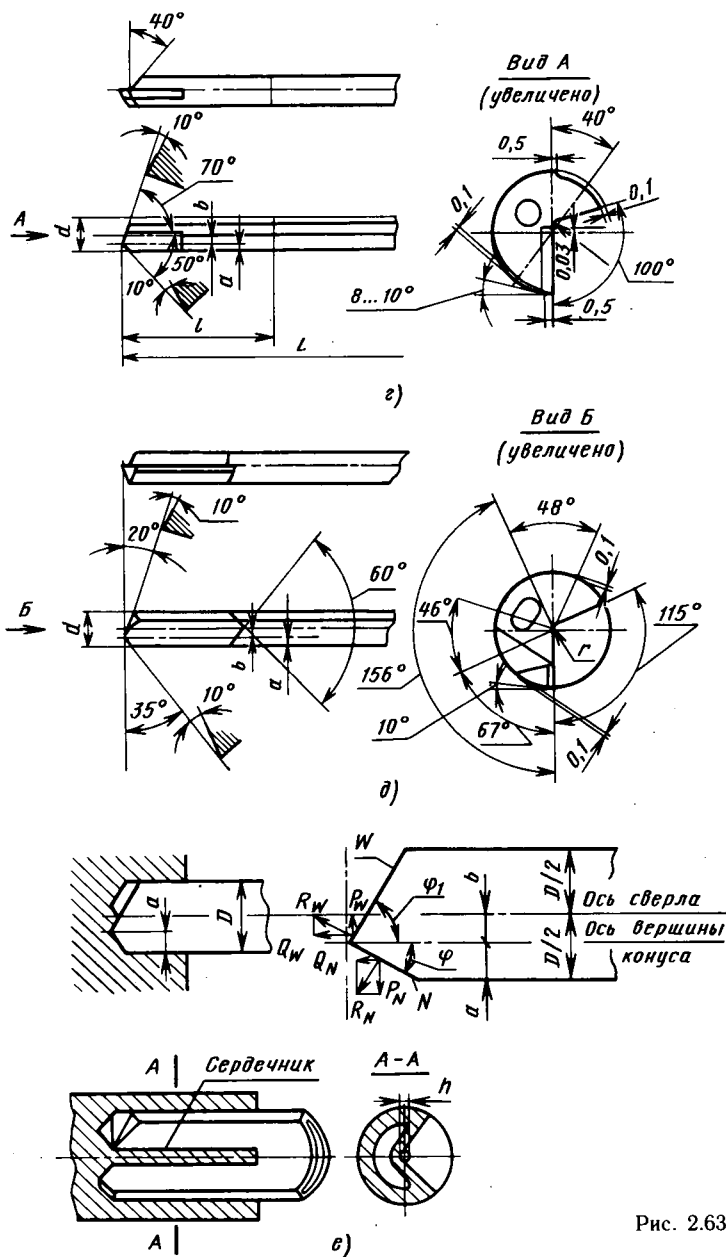


Рис. 2.63. Продолжение

бóльшие значения угла берут при обработке заготовок из мягких и вязких металлов.

Сверла для глубокого сверления. Под глубоким сверлением понимается сверление отверстий на глубину, превышающую диаметр сверла в 5—10 раз и более. Такие сверла применяют для сплошного

($D \leq 80$ мм) и кольцевого ($D > 80$ мм) сверления. К глубокому сверлению предъявляют следующие требования: прямолинейность оси отверстия, concentricность отверстия по отношению к наружной поверхности детали, цилиндричность отверстия, точность обработки, получение необходимой шероховатости поверхности, по-

лучение стружки, легко удаляемой из отверстия. Отверстия длиной до 5—7 диаметров обычно обрабатывают на токарных, револьверных станках и станках-автоматах, отверстия большей длины — на специальных станках для глубокого сверления. Для сверления отверстий длиной до 5—7 диаметров применяют удлиненные спиральные сверла стандартной конструкции, однако при работе этими сверлами забиваются стружкой стружечные канавки, и для ее удаления необходимо периодически вынимать сверло из отверстия.

Для лучшего удаления стружки в процессе работы применяют спиральные сверла с отверстиями для подвода смазывающе-охлаждающей жидкости (рис. 2. 63, а). Для получения мелкой стружки, легко удаляемой из отверстия потоками СОЖ, на передней поверхности сверла вдоль режущей кромки делают стружколомающие канавки. Стойкость спиральных сверл с отверстиями до 8 раз превышает стойкость стандартных сверл. Для работы с большими подачами жесткость и прочность сечения сверла должны быть увеличены, а также подобран для изготовления сверл материал большей прочности.

Шнековые сверла (рис. 2.63,б) изготавливают диаметром от 3 до 30 мм, их применяют для сверления отверстий длиной до 30 диаметров в стальных заготовках и до 40 диаметров в чугунных. Эти сверла изготавливают из быстрорежущей стали. Для лучшего отвода стружки угол наклона винтовых канавок $\omega = 60^\circ$. Стружечные канавки у шнековых сверл имеют в осевом сечении прямой треугольный профиль с закруглением во впадине.

При обработке заготовок из чугуна угол при вершине сверла $2\varphi = 120 \dots 130^\circ$, при обработке стали $2\varphi = 120^\circ$, задний угол выбирают в пределах $12—15^\circ$. Для уменьшения трения в процессе работы на калибрующей части сверло имеет утонение $0,03—0,10$ мм по направлению к хвостовику на длине 100 мм. Для уменьшения трения ленточку на калибрующей части выбирают равной $0,5—0,8$ ширины ленточки спирального сверла. Для придания

сверлам жесткости диаметр сердцевины принимают равным $0,3—0,35$ диаметра сверла и затем производят подточку перемычки до $0,1—0,15$ диаметра сверла. Диаметр сердцевины не изменяется по всей длине рабочей части. Для получения дробленой стружки переднюю поверхность сверла подтачивают. У сверл для обработки заготовок из чугуна передний угол выбирают равным $12—18^\circ$, у сверл для обработки заготовок из стали $12—15^\circ$.

Увеличенный угол наклона винтовых канавок, их профиль и форма подточки передней поверхности обеспечивают надежное удаление стружки из зоны резания без вывода сверла из отверстия.

Сверла одностороннего резания. Эти сверла делят на сверла с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки и на сверла с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки. Сверла первого типа изготавливают диаметром от 3 до 30 мм. Сверла делают из быстрорежущей стали (рис. 2.63, в) и оснащают пластинами (рис. 2. 63, г) или коронками из твердого сплава (рис. 2.63,д). Пластины и коронки припаивают.

Рабочую часть сверла с хвостовой соединяют сваркой. Хвостовую часть изготавливают из углеродистой стали, она представляет собой трубу с провальцованной по длине канавкой, имеющей угол профиля, равный профилю стружечной канавки сверла. Длину хвостовой части устанавливают в зависимости от длины обрабатываемого отверстия.

Сверла второго типа изготавливают диаметром от 16 до 65 мм (рис. 2.64,а). Для обеспечения подвода СОЖ корпус сверла 1 занижается, а для направления сверла в отверстие в корпус впаивают два выступа, оснащенных твердым сплавом 2. Один из них расположен в диаметральной плоскости, проходящей через режущую кромку пластины твердого сплава 3, другой смещен относительно режущей кромки на 70° . Эти сверла с державкой соединяются с помощью прямоугольной резьбы, которую делают трех-четырёхзаходной для ускорения навинчивания.

Угол профиля стружечной канавки у сверл одностороннего резания выбирают в пределах 120° — 140° , при этом обеспечивается достаточная жесткость сверла и создается необходимое пространство для отвода стружки. Дно канавки располагается ниже центра сверла на $0,03$ диаметра сверла во избежание появления при работе сверла нулевой скорости.

При сверлении в центре отверстия получается стержень. Сверло имеет одну режущую кромку, состоящую из двух частей — наружной N и внутренней W (см. рис. 2.63, e). Вершина сверла для лучшего направления при работе смещена относительно оси на некоторую величину b . В процессе работы сверла на детали образуется конус, обеспечивающий сверлу дополнительное направление при работе. Смещение b оказывает большое влияние на работу сверла. Обычно $b = a = 0,25d$. Однако предпочтительнее выбирать b меньше a , например $b = 0,2d$; $a = 0,3d$ и угол φ больше угла φ_1 , например $\varphi = 35^{\circ}$ и $\varphi_1 = 25^{\circ}$. При этом условию калибрующая кромка будет испытывать меньшее давление, так как составляющая силы резания, действующая перпендикулярно к оси сверла, для кромки N будет больше, чем для кромки W ($P_N > P_W$). Это предохраняет сверло от увода, отверстие от разбивки, а также повышает стойкость сверла. Для уменьшения трения при работе калибрующая часть снабжена утонением по направлению к хвостовику в пределах $0,1$ — $0,3$ мм на длине 100 мм. Вдоль режущей кромки на калибрующей части оставляется ленточка шириной $0,2$ — $0,6$ мм.

У сверл, оснащенных твердым сплавом, заднюю поверхность оформляют по плоскостям, у сверл с рабочей частью из быстрорежущей стали — по плоскостям или по винтовой поверхности.

На рис. 2.64, b приведена конструкция сверла с внутренним отводом стружки и раздельным расположением в шахматном порядке пластин из твердого сплава, припаянных к корпусу сверла. Эти сверла делают диаметром от 20 до 65 мм. Для диаметров 65 — 180 мм целесообразно использовать сверла, оснащенные многорезцовыми пластинами из твердого спла-

ва (рис. 2.64, a). Для обеспечения формы стружки, способствующей ее хорошему отводу, на передней поверхности сверл с внутренним отводом стружки делают стружколомающие канавки.

Эжекторное сверло для глубокого сверления по конструкции режущей части аналогично сверлу, показанному на рис. 2.64, b , его выполняют в том же диапазоне диаметров. Особенностью эжекторных сверл является эффект подсоса СОЖ, отходящей вместе со стружкой в результате разрежения и перепада давлений, создаваемого внутри корпуса сверла (рис. 2.64, z). Разрежение обеспечивается разделением прямого потока жидкости на два направления. Прямой поток СОЖ подается под давлением 2 — 3 МПа по каналу A между внутренним и наружным стеблями. Не доходя до рабочей части, он разделяется. Примерно 70% жидкости направляется в зону резания через сделанные в корпусе сверла отверстия, а 30% жидкости через шелевидные сопла B , сделанные на внутреннем стебле, отводится обратно. Между потоком жидкости, отходящей вместе со стружкой, из рабочей зоны, и потоком, уходящим через сопла B по стеблю I , создается разрежение и перепад давлений. В результате основной поток жидкости со стружкой, отходящий из зоны резания, как бы засасывается жидкостью, уходящей через сопла B , и движется с большей скоростью. Сверла обеспечивают точность обработки отверстий по 9 — 11 -му качествам и параметр шероховатости поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм [13].

Головки кольцевого сверления предназначены для обработки отверстий диаметром от 30 мм и выше. Головки диаметром от 30 до 60 мм делают цельными (рис. 2.65, a) из быстрорежущей стали или оснащают напайными пластинами из твердого сплава. Головки диаметром 70 мм и больше изготавливают со вставными зубьями из быстрорежущей стали или зубьями, оснащенными пластинами из твердого сплава (рис. 2.65, b).

Длина головки $l = (1,5 \dots 0,8)d$, длина рабочей части $l_1 = 0,7d$. Число зубьев в зависимости от диаметра головки выбирают в пределах 3 — 12 . На калибрующей

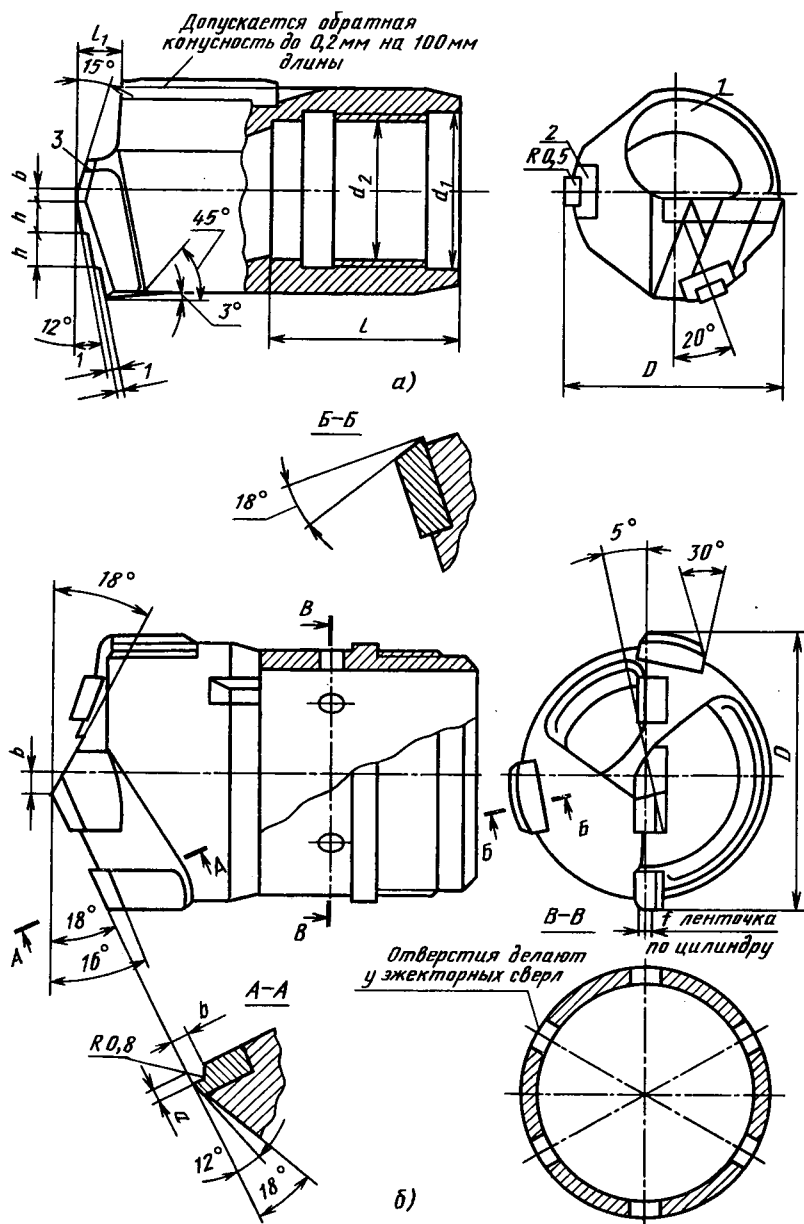


Рис. 2.64. Сверла для глубокого сверления с внутренним отводом стружки

части зубьев делают направляющую ленточку шириной 0,8—1,5 мм с обратной конусностью 30'—45'. Для головок диаметром 30—150 мм ширина реза $B = (0,05d \dots 3)L^{0,15}$, для головок диаметром более 150 мм $B = (0,03d \dots 6)L^{0,15}$, где d — диаметр;

L — длина обрабатываемого отверстия. Ширина стружечной канавки $m = B$. Зубья и канавки на головке наклонены к оси на 5°, задний угол 6—8°. Для обеспечения формы стружки удобной для удаления из зоны резания, го-

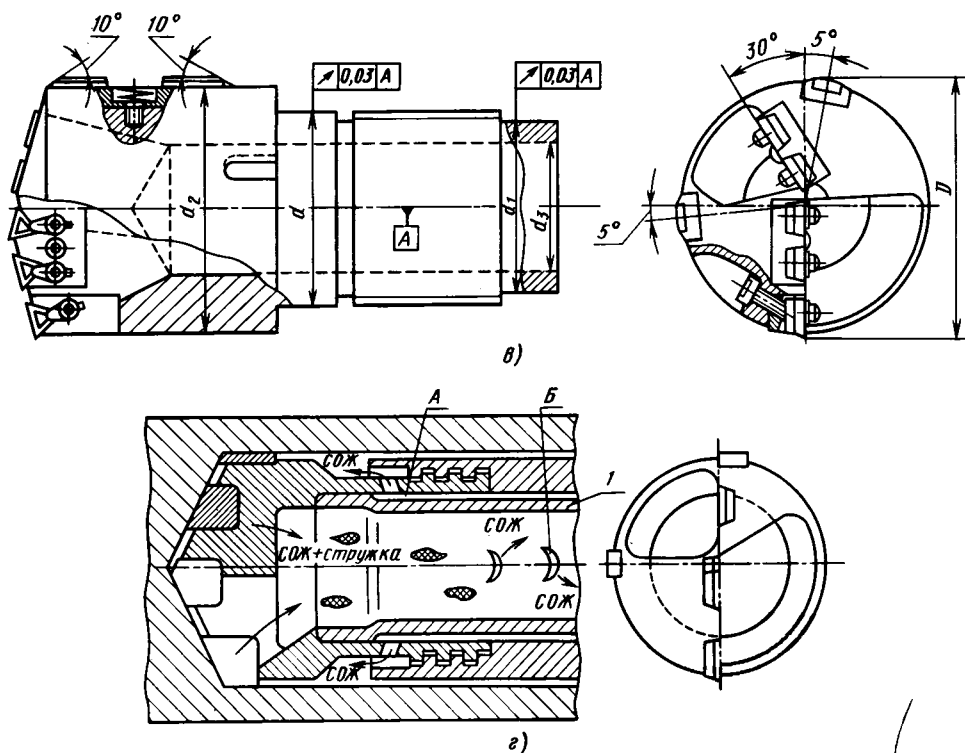


Рис. 2.64. Продолжение

ловки работают по групповой схеме резания. Их зубья имеют специальную заточку с чередованием через зуб — с фаской под углом $30\text{--}40^\circ$ и плоские (рис. 2.65, б). Зубья с фаской выступают по отношению к плоским на $(1,2\ldots 1,5)S_z$, где S_z — подача на зуб.

На передней поверхности зубьев делают стружколомающую канавку. В результате применения такой формы зубьев обеспечивается получение мелкой, дробленной стружки, которая легко удаляется из зоны резания с помощью СОЖ, подаваемой в зону резания через полость А (см. рис. 2.65, б). СОЖ вместе со стружкой удаляется через полость Б. Для облегчения отвода стружки на наружной поверхности головки и оправки делают канавки. Оправки для крепления головки имеют форму трубы. Головки крепят на ней подобно сверлам одностороннего резания многозаходной прямоугольной резьбой.

В процессе кольцевого сверления обеспечивается обработка отверстий по 11—12-му классам точности и параметр

шероховатости поверхности $Rz=20 \dots 40$ мкм. На детали при сверлении образуются кольцевая канавка и сердечник, который выходит из отверстия по окончании сверления.

Зенкеры и зенковки. Зенкеры — осевой режущий инструмент, предназначенный для повышения точности формы отверстия, полученных после сверления, отливки,ковки, штамповки, а также для обработки торцовых поверхностей бабышек, выступов и др. Зенкеры для обработки цилиндрических отверстий применяют для окончательной обработки отверстий с допуском по 11-, 12-му классам и обеспечивают параметр шероховатости поверхности $Rz=20\ldots 40$ мкм или для обработки отверстий под последующее развертывание.

Зенкеры изготавливают хвостовыми цельными, хвостовыми сборными со вставными ножами, насадными цельными и насадными сборными. Зенкеры делают из быстрорежущей стали или с пластинами твердого сплава, напаяваемыми на корпус зенкера или на корпус ножей у сборных

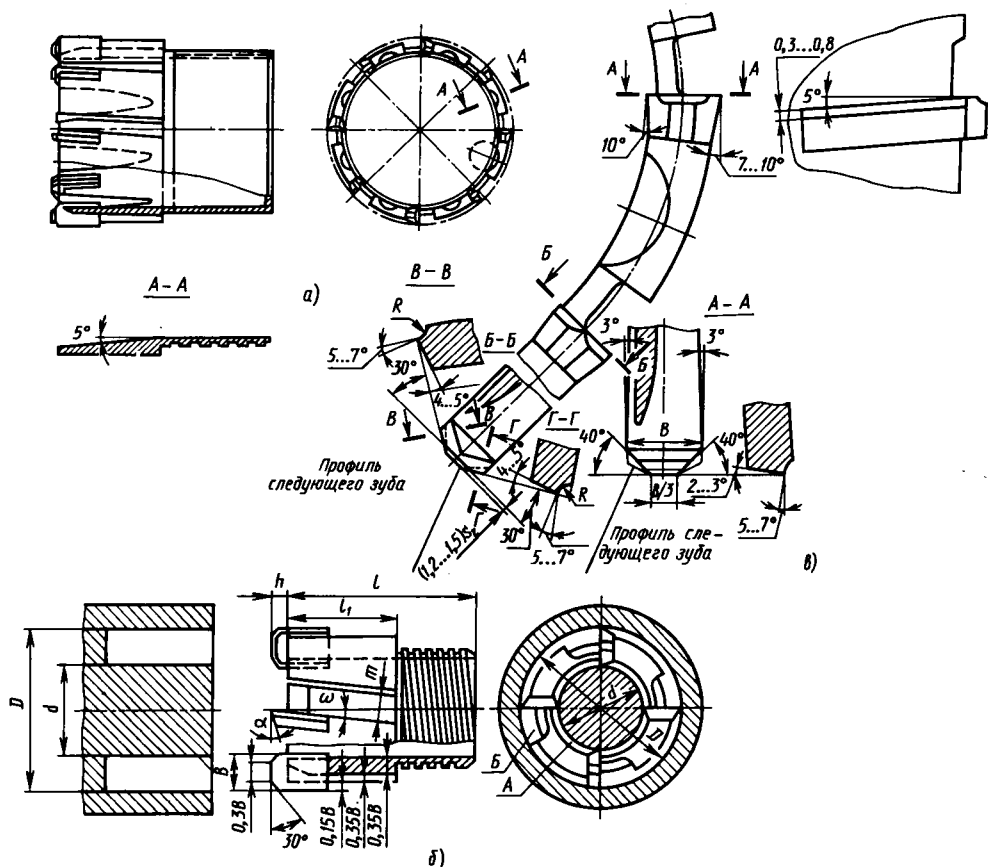


Рис. 2.65. Головки кольцевого сверления

конструкций. Хвостовые зенкеры подобно сверлам крепят с помощью цилиндрических или конических хвостовиков, насадные зенкеры имеют коническое посадочное отверстие (конусность 1:30) и торцовую шпонку для предохранения от провертывания при работе. По конструкции рабочей части хвостовые зенкеры аналогичны спиральным сверлам, но не имеют поперечной режущей кромки и имеют три зуба, благодаря чему обеспечивается лучшее направление при работе и лучшая цилиндричность и качество обработанной поверхности. Насадные зенкеры имеют четыре-шесть зубьев.

Рабочая часть зенкера состоит из режущей и калибрующей частей. Длина режущей части l_p определяется в зави-

симости от глубины резания t и главного угла в плане φ :

$$l_p = (t + a) \operatorname{ctg} \varphi,$$

где $a = (0,5 \dots 1,0)t$, a — дополнительная длина для облегчения центрирования зенкера в отверстии в начале работы.

Главный угол в плане φ оказывает прямое влияние на размеры поперечного сечения срезаемого слоя, а следовательно, на возникающие при резании силы. Угол φ обычно принимают равным 60° , но для увеличения стойкости иногда делают переходную кромку под углом $\varphi' = 30^\circ$. У зенкеров для обработки глухих отверстий угол φ увеличивают до 90° . Задний угол на режущей части зенкера выбирают в пределах $6 \dots 10^\circ$. Заднюю поверхность зенкера на режущей части оформляют по

конической, винтовой или плоской поверхностям.

Калибрующая часть обеспечивает получение требуемого размера отверстия, направление зенкера в процессе обработки и служит запасом на переточки режущей части. На калибрующей части вдоль режущей кромки оставляют ленточки шириной 0,8—2,5 мм в зависимости от диаметра зенкера. С увеличением ширины ленты наблюдается большое налипание на нее стружки, что ухудшает процесс резания. Высота ленты 0,2—1 мм. Для облегчения процесса резания на калибрующей части делают обратную конусность в пределах 0,04—0,10 мм на 100 мм длины. Утонение зенкера играет такую же роль, как и вспомогательный угол в плане у резцов. Канавки у зенкеров делают винтовые, косые и прямые. Наиболее широко применяют винтовые канавки. Косые канавки применяют у зенкеров со вставными ножами. Прямые канавки применяют для зенкеров, оснащенных твердым сплавом, предназначенных для обработки материалов, дающих стружку надлома. Для повышения прочности и жесткости у хвостовых зенкеров диаметр сердцевины увеличивается к хвостовику на 1—2 мм.

У хвостовых зенкеров угол наклона канавок $\omega = 15 \dots 25^\circ$, у насадных $\omega = 15 \dots 20^\circ$. Большие значения угла ω принимают при обработке заготовок из более вязких материалов. Угол ω определяют передний угол в осевом направлении. Угол наклона стружечных канавок для точек, не лежащих на наружном диаметре,

$$\operatorname{tg} \omega_x = r_x \operatorname{tg} \omega / r,$$

где r_x — радиус, на котором определяют угол наклона стружечной канавки; r — наружный радиус зенкера.

Передний угол зенкера в нормальном сечении к режущей кромке определяют для зенкеров, у которых режущая кромка расположена по радиусу ($\lambda = 0^\circ$):

$$\operatorname{tg} \gamma_{nx} = \operatorname{tg} \omega_x / \sin \phi.$$

В тех случаях, когда угол $\lambda \neq 0^\circ$, в целях создания более благоприятных условий для схода стружки значение угла γ_{nx} может быть определено по формуле (2.41). Обычно угол λ задают в торцевой плоскости (λ_1), тогда значение угла λ на режущей части определяют так:

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \lambda_1 \sin \omega. \quad (2.47)$$

Диаметр зенкера для обработки отверстий устанавливают в зависимости от его назначения. Диаметр зенкера № 1, предназначенного для обработки отверстий под последующее развертывание, определяют с учетом припуска под развертывание. Диаметр зенкера № 2 для окончательной обработки определяют по диаметру обрабатываемого отверстия с учетом допуска на отверстие, разбивки и запаса на изнашивание. Разбивку обычно принимают равной 0,3—0,4 допуска на обрабатываемые отверстия, допуск на изготовление принимают равным 0,25 допуска на отверстие (рис. 2.66).

Зенкеры из быстрорежущей стали изготавливают хвостовыми цельными диаметрами от 10 до 40 мм, хвостовыми сборными со вставными ножами диаметром от 32 до 80 мм, насадными цельными диаметром от 25 до 60 мм и насадными сборными диаметром от 40 до 120 мм. Хвостовые зенкеры делают сварными — рабочая часть из быстрорежущей стали, хвостовик из сталей 45, 40Х, 45Х. Место сварки обычно делают на шейке. Конструкция хвостового цельного зенкера при-

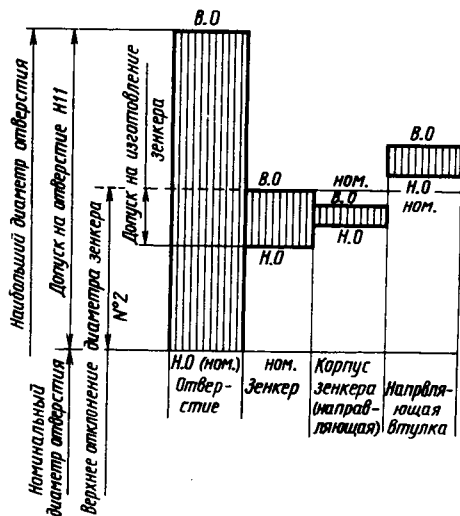


Рис. 2.66. Схема построения допусков на наружный диаметр зенкера № 2:
В.О. — верхнее отклонение; Н.О. — нижнее отклонение; НОМ — номинальный размер

ведена на рис. 2.67, а. Рабочая часть зенкера состоит из задней поверхности 1, главной задней поверхности 2, вспомогательной задней поверхности (ленточки) 3, главной режущей кромки 4, вспомогательной режущей кромки 5 и вершины 6 зуба зенкера; конструкция насадного цельного и насадного сборного зенкеров приведена на рис. 2.67, б, в. Заднюю поверхность у цельных зенкеров оформляют по винтовой или конической поверхности,

у зенкеров сборной конструкции — по плоскости. Для крепления ножей на корпусе делают косые пазы, наклоненные к оси под углом $\omega = 10 \dots 20^\circ$. Передняя поверхность корпуса плоская. Ножи имеют клиновидную форму с углом клина 5° , их крепят в корпусе с помощью рифлений.

Хвостовые цельные зенкеры имеют три зуба, насадные цельные — четыре. Форма профиля поперечного сечения зенкера, имеющего три зуба, показана на рис. 2.67, г.

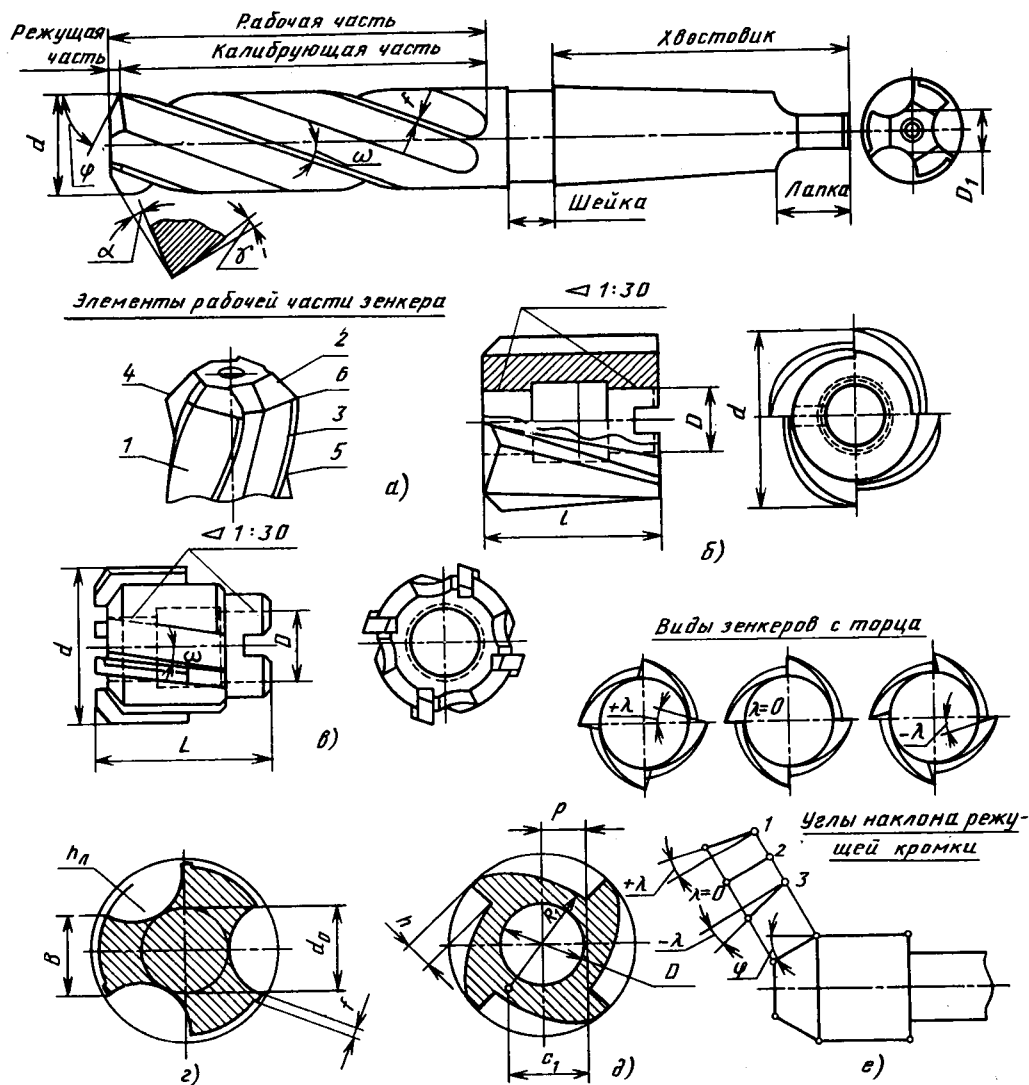


Рис. 2.67. Зенкеры из быстрорежущей стали

Этот профиль аналогичен профилю канавки сверла и характеризуется соотношениями: $d_0 = (0,35 \dots 0,5)d$, $B = (0,4 \dots 0,48)d$, $h_n = (0,02 \dots 0,04)d$.

Форма профиля зенкера, имеющего четыре зуба, показана на рис. 2.67, д. Высота зуба этих зенкеров $h = (0,1 \dots 0,16)d$. Спинка зуба криволинейная, что позволяет обрабатывать зуб за один проход, тогда как профиль, указанный на рис. 2.67, г, требует раздельной обработки канавки и спинки зуба. Наиболее часто зенкеры изготавливают с расположением режущей кромки по радиусу ($\lambda = 0^\circ$) (рис. 2.67, е). Отрицательное значение угла λ принимают для направления стружки в сторону обрабатываемой поверхности, т. е. в направлении подачи, что обеспечивает лучшее качество обработанной поверхности, однако это возможно только при обработке сквозных отверстий. При положительном значении угла λ стружка направляется в сторону хвостовика, т. е. против направления подачи. Положительный угол λ увеличивает прочность режущей части в месте перехода режущей кромки в калибрующую часть.

Зенкеры, оснащенные твердосплавными пластинами, могут быть составными и сборными. Составные хвостовые зенкеры изготавливают диаметром 14—50 мм, насадные 32—80 мм, насадные сборные зенкеры диаметром 40—120 мм. Хвостовые зенкеры имеют три зуба, насадные — четыре, сборные зенкеры — четыре-шесть зубьев. Корпуса зенкеров и ножей, оснащаемые пластинами из твердого сплава, делают из сталей 40Х или 45Х (36...46HRC₂), 9ХС (57...63HRC₂) или из быстрорежущей стали (57...63HRC₂). Для их оснащения применяют пластины из твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК6-М, ВК8-В, Т5К10, Т14К8, Т15К6. Крепление пластин производится напайкой.

Хвостовые (рис. 2.68, а) и насадные (рис. 2.68, б) составные зенкеры имеют винтовые стружечные канавки с углом наклона 15—20°. Для облегчения заточки и шлифования пластины в этих зенкерах напайвают в наклонных пазах, угол наклона которых на 3—5° меньше угла наклона винтовой стружечной канавки. Передний угол у них равен углу врезания пластины

и составляет 10°. Для увеличения прочности режущей части в месте перехода режущей кромки в калибрующую часть зенкеры, оснащенные пластинами из твердого сплава, обычно делают с положительным углом λ (см. рис. 2.67, е).

Формы профиля поперечного сечения зенкеров, имеющих три и четыре зуба, показаны соответственно на рис. 2.68, в, г. Форма профиля подобна форме профиля, применяемой у зенкеров из быстрорежущей стали, за исключением вреза пластин из твердого сплава. Это вызывает необходимость усиления профиля зуба для создания под пластиной прочной основы.

Сборный насадной зенкер показан на рис. 2.68, д. На корпусе зенкера делают для крепления ножей косые канавки, наклоненные к оси зенкера под углом $\omega = 10 \dots 15^\circ$. Передняя поверхность корпуса плоская. Число зубьев у таких зенкеров $z = 4 \dots 6$. Ножи в корпусе закреплены с помощью рифлений и клина. Угол клина 5°.

Составной зенкер с прямыми канавками (рис. 2.68, е) предназначен для обработки заготовок из закаленных сталей. Передний угол делают отрицательным (-15°) для упрочнения режущей кромки и направления схода стружки вперед по направлению подачи. Задний угол равен 10°. Главный угол в плане $\lambda = 60^\circ$, угол переходной кромки $\lambda' = 15^\circ$. Длина рабочей части зенкера равна длине пластины из твердого сплава. Для лучшего направления в процессе работы зенкер имеет переднее направление.

Определение положения паза под пластину или нож у сборных зенкеров. Для обеспечения заданных параметров режущей части (ϕ , γ и λ) у зенкеров, оснащенных пластинами из твердого сплава или сборных зенкеров со вставными ножами, необходимо определить угол наклона ω и смещение E относительно диаметральной плоскости паза под пластину или нож на торце зенкера. На рис. 2.69, а показаны геометрические параметры, задаваемые для вершины лезвия А, а также параметры установки ω и E составного зенкера, оснащенного пластинами из твердого сплава. Для определения параметров ω и E необходимо знать значения торцового γ_{II} и осевого γ_{III} передних углов, определяе-

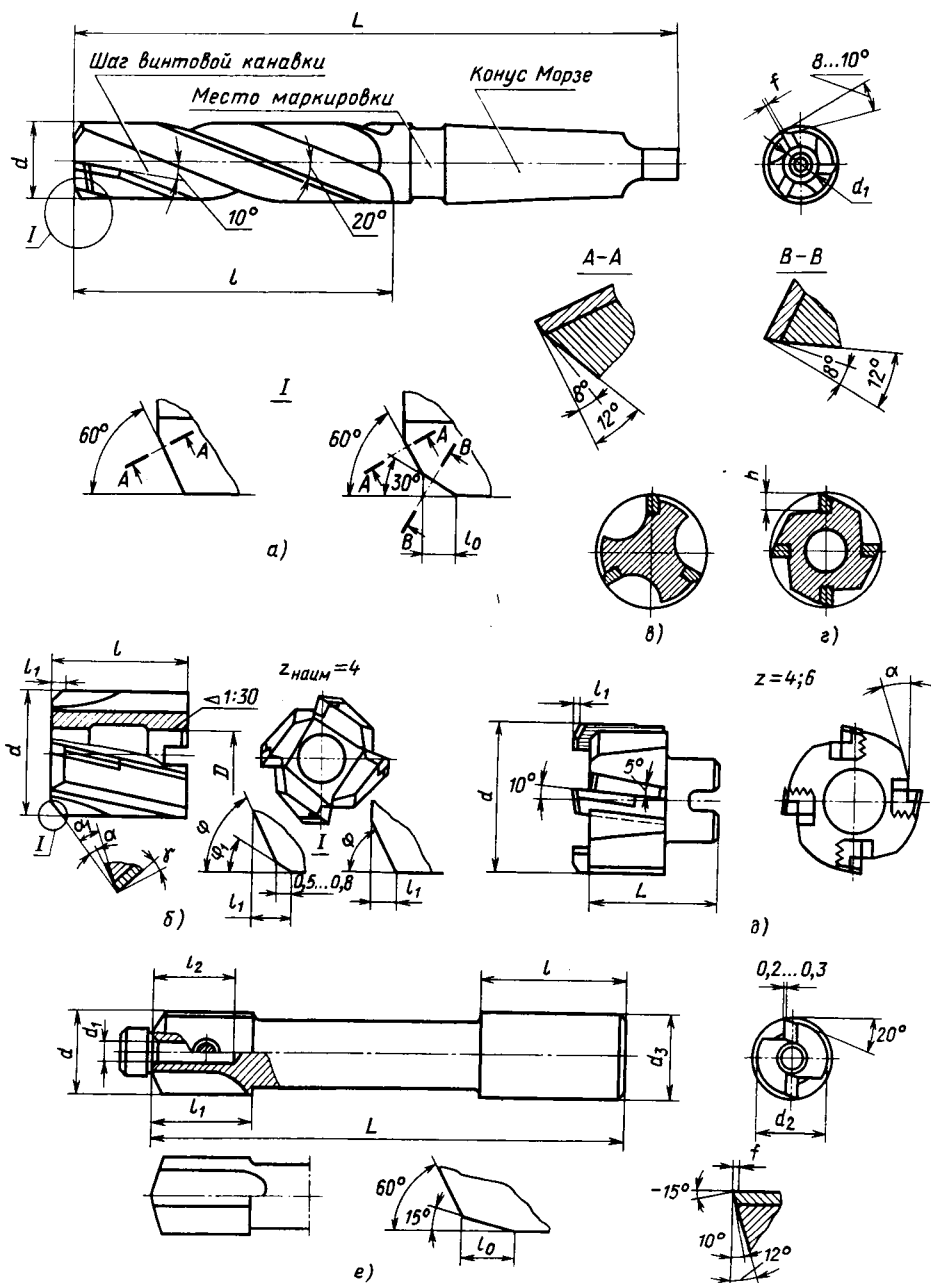


Рис. 2.68. Конструкция зенкеров, оснащенных пластинами из твердого сплава

мых соответственно в плоскостях $I-I$ (проекция 2) и $II-II$ (проекция 1).

Углы γ_I и γ_{II} для расточного инструмента определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma_I = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi; \quad (2.48)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{II} = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi. \quad (2.49)$$

Угол ω — проекция угла γ_{II} на плоскость чертежа (см. проекцию 3) и его можно

определить по формуле

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma_{II} \cos \gamma_I. \quad (2.50)$$

Смещение E (проекция 1, 3)

$E = l + L \operatorname{tg} \omega$, где $l = R_0 \sin \gamma_I$, здесь R_0 — радиус инструмента; L — длина заборной части или вылет ножа относительно корпуса инструмента.

С учетом знаков углов γ и λ в приведенных формулах значения углов γ_I , γ_{II} и ω могут быть как положительными, так и отрицательными (рис. 2.69, б, в). Например, на рис. 2.69, в углы γ_I и ω отрицательные и $E = l - L \operatorname{tg} \omega < 0$.

Расстояние H от оси зенкера до дна паза под пластину твердого сплава за-

висит от радиуса инструмента, ширины b пластины:

$$H = R_0 - b + 0,5\delta, \quad (2.51)$$

где $\delta = 0,2 \dots 0,4$ мм — припуск на шлифование инструмента по диаметру.

Для расточных инструментов, оснащенных ножами с припаянными режущими элементами и имеющими вылет L относительно корпуса, значения ω и E определяют по приведенным выше формулам. Если расточные инструменты оснащают многогранными пластинами, то углы γ_I и γ_{II} рассчитывают по формулам, приведенным в § 2.1.

Резец-зенкер с многогранными пластинами твердого сплава (рис. 2.70, а) применяют для обработки отверстий с большими припусками. На корпусе 1 установлены две пластины 2 из твердого сплава, которые свободно надевают на штифты 3 и закрепляют с помощью клина 5 и винта 4. Для разделения срезаемого припуска по глубине между режущими пластинами они смещены относительно друг друга в осевом направлении. Пластина А снимает припуск глубиной $t_1 = (d_{\text{ном}} - d_{\text{мин}})/2$, пластина Б — глубиной $t_2 = (d_{\text{мах}} - d_{\text{ном}})/2$. Резец-зенкер применяют для обработки отверстий диаметром 50—120 мм, им снимают припуск на черновой операции до 30 мм.

У зенкеров с механическим креплением круглых пластин из быстрорежущей стали или из твердого сплава (рис. 2.70, б) угол в плане непрерывно меняется по длине режущей кромки, меньшее значение у перехода к калибрующей части, что улучшает качество обработанной поверхности. Пластины 2 в корпусе 1 крепят центральным винтом 3, штоком 4 и винтом 5.

Угол наклона λ оказывает существенное влияние на направление выхода стружки. При отрицательных значениях угла $\lambda = -(5 \dots 10)^\circ$ стружка движется по направлению подачи в предварительно обработанное отверстие, поэтому такие значения угла λ возможны только у зенкеров для обработки сквозных отверстий. При обработке глухих отверстий выбирают $\lambda = 0^\circ$. У твердосплавных зенкеров, для упрочнения вершины зуба применяют положительное значение $\lambda = 10 \dots 15^\circ$.

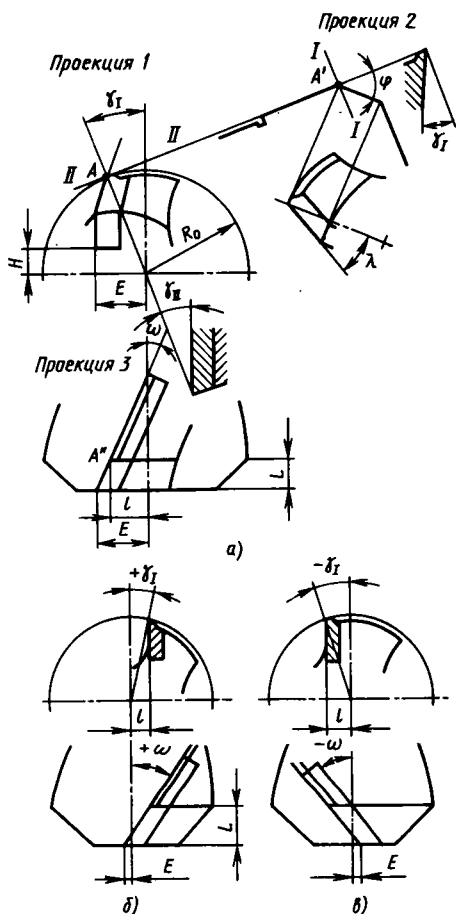


Рис. 2.69. Параметры установки пластин или ножей у зенкеров, оснащенных пластинами из твердого сплава, и сборных зенкеров

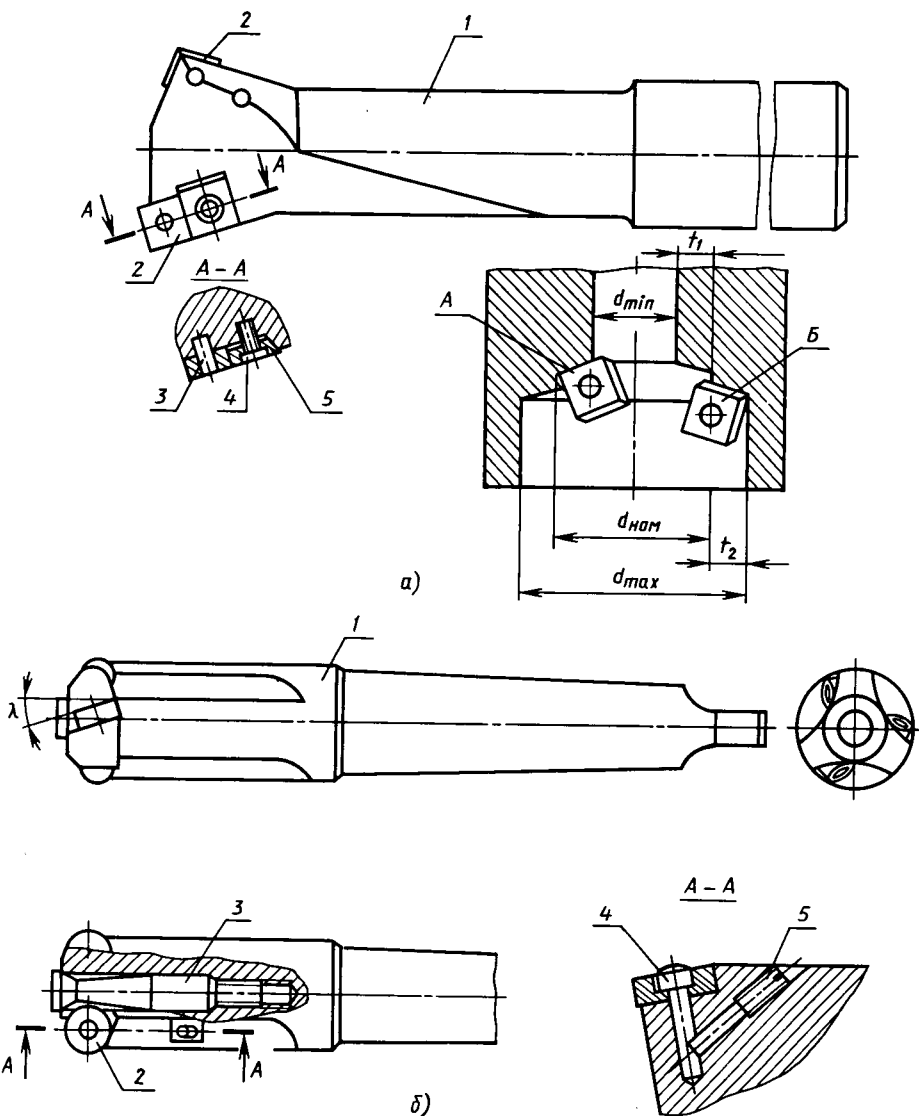


Рис. 2.70. Зенкеры, оснащенные неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава

Зенковка — многолезвийный режущий инструмент, предназначенный для обработки: цилиндрических углублений под головки винтов и др. (рис. 2.71, а); конических углублений, для центрования отверстий, отверстий под винты с потайной головкой, снятия фасок в отверстиях и др. (рис. 2.71, б).

Для лучшего направления в процессе работы у зенковок широко применяют на-

правляющие части. Зенковки изготавливают из быстрорежущей стали и оснащают пластинами из твердого сплава. Зенковки из быстрорежущей стали диаметром свыше 12—14 мм делают сварными, с хвостовиком из стали 45, 40Х, 45Х. Зенковки для цилиндрических углублений имеют конструкцию, аналогичную зенкерам. Зенковки для конических углублений делают с углом $2\varphi = 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 120^\circ$.

Передний угол у них обычно делают равным 0° , задний угол $8-10^\circ$.

На рис. 2.71, в приведена конструкция зенковки для обработки торцовых поверхностей. Для направления в процессе работы зенковка имеет цапфу.

Развертка — осевой режущий инструмент для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности. Предназначена для предварительной и окончательной обработки отверстий с полями допуска по 6—11-му классам и с параметром шероховатости поверхности $Ra=2,5...0,32$ мкм. Развертки для предварительной обработки выполняют с полем допуска V8, допуск на развертки для окончательной обработки устанавливают в зависимости от допуска на обрабатываемое отверстие. В процессе работы развертки повышают точность и качество обработки отверстий. Их обычно используют для обработки отверстий после растачивания или зенкерования. Развертывают отверстия после сверления, в основном при обработке отверстий диаметром до 5 мм.

По способу применения развертки разделяют на ручные и машинные, по форме обрабатываемого отверстия — на цилиндрические и конические, по методу закрепления — на хвостовые и насадные, по конструкции — на цельные и сборные, жесткие и регулируемые. Ручные развертки (ГОСТ 7722—77) диаметром 3—40 мм изготавливают из быстрорежущей стали, а также из легированной стали 9ХС, так как они работают при малых скоростях резания. Машинные развертки (ГОСТ 1672—80) диаметром 3—50 мм и ножи для сборных разверток (ГОСТ 883—80) диаметром 40—100 мм изготавливают из быстрорежущей стали или оснащают пластинами из твердого сплава (ГОСТ 11175—80), диаметр 10—50 мм. Машинные хвостовые развертки с диаметром рабочей части 10 мм и выше изготавливают сварными. Хвостовик у этих разверток делают из сталей 45 или 40Х. Корпуса сборных разверток и разверток, оснащенных напайными пластинами из твердого сплава, делают из стали 40Х, корпуса ножей сборных разверток — из стали У7 и У8.

На рис. 2.72 представлены конструкции цилиндрической ручной (рис. 2.72, а) и машинных хвостовой (рис. 2.72, б) и насадной (рис. 2.72, в) разверток. Рабочая часть разверток состоит из режущей и калибрующей частей. Зубья, расположенные на режущей части, затачивают на остро, без оставления ленточки; на калибрующей части по задней поверхности вдоль режущей кромки оставляют цилиндрическую ленточку шириной 0,05—0,3 мм для лучшего направления при работе и сохранения диаметра развертки. Угол в плане на режущей части для ручных разверток находится в пределах $1-2^\circ$ для лучшего направления развертки в начале работы, у машинных — в пределах $5-45^\circ$. При обработке заготовок из обычного чугуна угол $\varphi=5^\circ$, а при обработке заготовок из стали $\varphi=15^\circ$. У разверток, имеющих угол $\varphi \neq 45^\circ$ в начале режущей части, для облегчения захода развертки в отверстие делают направляющий конус под углом $\varphi'=45^\circ$ и длиной 1,5—3 мм. Диаметр развертки в начале режущей части делают меньше предварительно подготовленного отверстия на 0,3—0,4 припуска под развертывание, это необходимо, чтобы обеспечить свободный вход развертки в отверстие и улучшить ее первоначальное направление. Рабочую часть у ручных разверток делают длиной 4—10 диаметров развертки, а у машинных — 2—0,75 диаметра.

Калибрующую часть у разверток на длине 0,5—0,4 рабочей части делают цилиндрической, далее делают для уменьшения разбивки отверстия обратную конусность. У ручных разверток обратная конусность равна 0,010—0,015 мм на 100 мм длины, у машинных — 0,04—0,10 мм на 100 мм длины. Передний угол у разверток обычно принимают равным 0° . У черновых разверток и при обработке заготовок из вязких материалов передний угол равен $5-10^\circ$. Задние углы у разверток выбирают в пределах от 6 до 15° . При обработке заготовок из сталей $\alpha=6...10^\circ$; при обработке заготовок из алюминиевых сплавов $\alpha=10...15^\circ$.

Ручные развертки имеют цилиндрический хвостовик, на конце которого имеется квадрат для крепления в воротке. Машин-

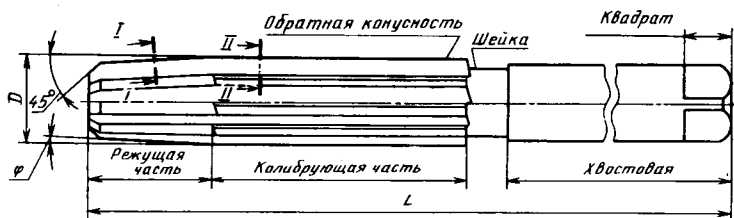
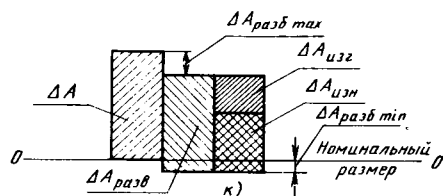
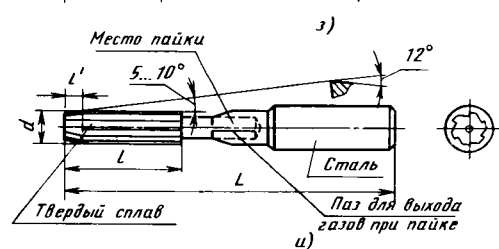
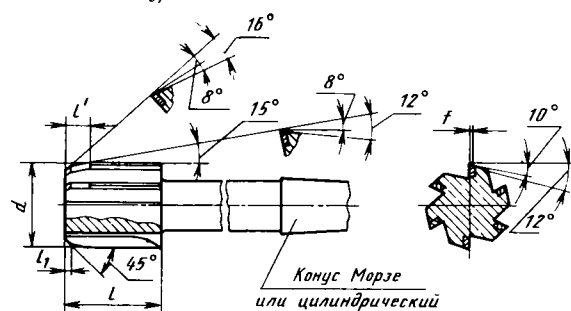
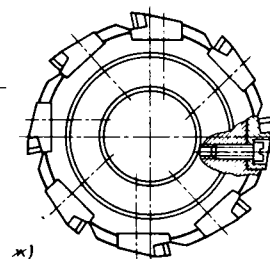
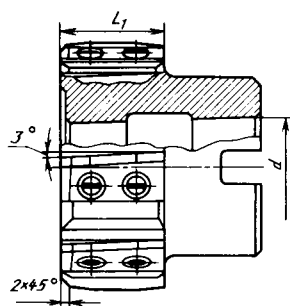
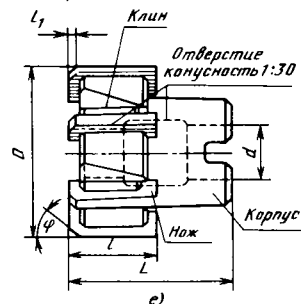
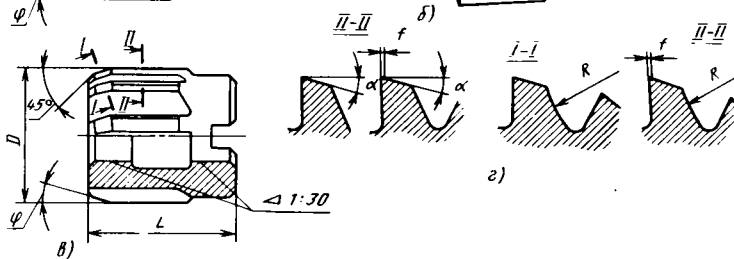
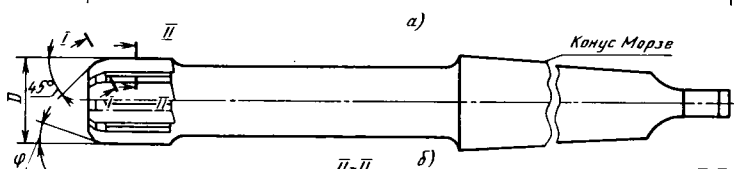


Рис. 2.72. Развертки для обработки цилиндрических отверстий



ные развертки крепят так же, как и зенкера.

Число и направление зубьев. Для улучшения качества обработанной поверхности число зубьев у разверток делается больше, чем у зенкеров, и в зависимости от диаметра его принимают равным 6—14. Для ручных и машинных разверток диаметром 3—50 мм ориентировочно число зубьев $z = 1,5\sqrt{d} + (2...4)$, для машинных разверток сборной конструкции $z = 1,2\sqrt{d}$, где d — диаметр развертки [13].

Большинство разверток изготавливают с прямым зубом. Форма зубьев показана на рис. 2.72, г. Вогнутая форма спинки зуба увеличивает пространство для размещения стружки, ее рекомендуется делать при обработке заготовок из вязких материалов. Окружной шаг зубьев делают равномерным и неравномерным. Применение разверток с неравномерным шагом улучшает качество обработанных отверстий (снижает шероховатость поверхности, уменьшает их гранность). Для удобства измерения развертки, как правило, изготавливают с четным числом зубьев, а в случае неравномерности окружного шага накрестлежачие углы у них делают равными (рис. 2.72, д), так, чтобы режущие кромки противоположных зубьев находились в одной осевой плоскости. Для рассматриваемого на рисунке случая, при $z=8$, центральные углы, определяющие окружные шаги развертки, будут: $\omega_1 = 41^\circ 53'$; $\omega_2 = 44^\circ 05'$; $\omega_3 = 46^\circ 06'$; $\omega_4 = 47^\circ 56'$.

В тех случаях, когда развертки предназначены для обработки отверстий с продольными канавками или отверстий, прерывающихся по длине, развертки делают с винтовым зубом. Направление винтовых зубьев обратно направлению резания для предупреждения от самозатягивания и заедания развертки. Угол наклона канавок ω выбирают в зависимости от материала заготовки: для серого чугуна и твердой стали $\omega = 7...8^\circ$, для ковкого чугуна и стали $\omega = 12...20^\circ$, для алюминия и легких сплавов $\omega = 35...45^\circ$.

Конструкции насадных регулируемых разверток со вставными ножами приведены на рис. 2.72, е, ж и рассмотрены способы крепления ножей с рифлениями кли-

ном (рис. 2.72, е) и винтами (рис. 2.72, ж). Рифления делают под углом 5° к оси развертки, что обеспечивает увеличение диаметра развертки при передвижении ножей к заднему торцу развертки. При недостаточности такой регулировки ножи могут быть переставлены в следующие рифления корпуса, что увеличит размер диаметра развертки. Эту конструкцию применяют также у хвостовых разверток диаметром 32 мм и более. Для развертывания отверстий диаметром от 40 до 300 мм применяют развертки, показанные на рис. 2.72, ж. Ножи у них устанавливают в точные пазы и крепят к корпусу винтами. При необходимости регулировки диаметра под основание ножа подкладывают прокладки. После перестановки ножей развертки должны быть шлифованы на необходимый размер и заточены. Указанные конструкции разверток изготавливают также и с ножами, оснащенными напаянными пластинами из твердого сплава. Кроме того, широко применяют развертки с пластинами твердого сплава, напаянными непосредственно на корпус (рис. 2.72, з). Развертки диаметром до 6 мм изготавливают целиком из твердого сплава, а развертки диаметром 3—12 мм изготавливают с рабочей частью из твердого сплава, которую впаивают в стальной хвостовик (рис. 2.72, и).

Диаметр калибрующей части развертки зависит от диаметра обрабатываемого отверстия. При определении диаметра развертки необходимо учитывать разбивку отверстия разверткой, допуск на ее изготовление, изнашивание (рис. 2.72, к). Разбивка отверстия зависит от диаметра отверстия, материала заготовки, режимов резания, охлаждающей жидкости, конструктивных и геометрических параметров, способа крепления, состояния станка, неточностей установки и др.

При обработке деталей с тонкими стенками, а также заготовок из вязких и пластичных материалов недостаточно острой разверткой разбивка может стать отрицательной, т. е. произойдет усадка, и при этом диаметр обрабатываемого отверстия получится меньше диаметра развертки. В большинстве случаев при развертывании получают положительную разбивку.

При обработке отверстия 5—8-го квалитетов точности максимальная разбивка $\Delta A_{\text{разб max}}$ и допуск $\Delta A_{\text{изг}}$ на погрешность изготовления диаметра развертки принимают равными $1/3$ допуска на диаметр отверстия ΔA : $\Delta A_{\text{разб max}} = \Delta A_{\text{изг}} = \Delta A/3$. После окончательного изнашивания диаметр перешлифованной развертки может быть меньше диаметра отверстия на величину минимальной разбивки, так как из-за наличия ее будет обеспечиваться размер отверстия, не выходящий за пределы допусков. Исходя из этого запас на изнашивание развертки при обработке отверстий 5-го квалитета точности $\Delta A_{\text{изг}} \approx 0,60\Delta A$, при обработке отверстий 7-го квалитета точности $\Delta A_{\text{изг}} \approx 0,55\Delta A$, при обработке отверстий 8-го квалитета точности $\Delta A_{\text{изг}} \approx 0,45\Delta A$ [13].

Конические развертки применяют для превращения цилиндрического отверстия в коническое или для калибрования конического отверстия, предварительно обработанного другим инструментом. Для получения отверстий под конус Морзе (из цилиндрического) обычно применяют комплекты разверток (ГОСТ 10082—71) из трех или двух штук (рис. 2.73). Первая (рис. 2.73, а) имеет ступени на зубьях, расположенные по винтовой линии на конусе с углом, равным углу наклона конуса Морзе, направление резьбы совпадает с направлением резания. Эта развертка превращает цилиндрическое отверстие в ступенчатое. Развертки имеют от трех до восьми зубьев в зависимости от размеров обрабатываемого конуса, они затылованы по задней поверхности.

Вторая развертка (рис. 2.73, б) имеет форму, соответствующую форме обрабатываемого отверстия, ее зубья для дробления стружки пересекаются прямоугольной резьбой, имеющей направление, обратное направлению резания. Шаг резьбы $P = 1,5 \dots 3$ мм, ширина канавки $0,4P$, глубина $0,2P$. Третья развертка (рис. 2.73, в) по конструкции отличается от цилиндрических разверток тем, что зубья у нее расположены на конусе и имеют переменную глубину канавки (большую у большего диаметра разверток).

Конические развертки обычно делают с равномерным шагом. При получении от-

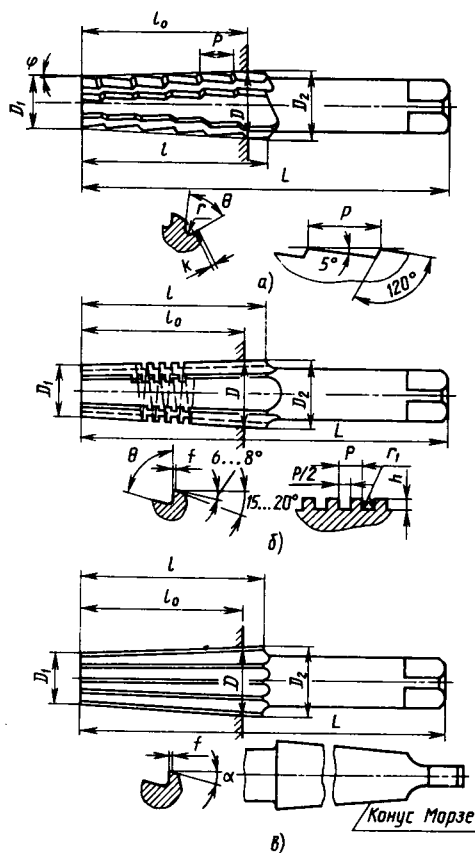


Рис. 2.73. Комплект разверток для обработки отверстий под конуса Морзе и метрические: а — черновая; б — промежуточная; в — чистовая

верстия конусность 1:30 из подготовленного цилиндрического отверстия требуется удаление меньшего слоя металла и поэтому применяют две развертки (вторую и третью). При обработке отверстий конусностью 1:50 и развертывании ранее подготовленных конических отверстий применяют только третью развертку.

Комбинированные инструменты для обработки отверстий. Для совмещения операций и переходов при обработке цилиндрических и ступенчатых отверстий используют различные комбинированные инструменты. Их применение значительно сокращает машинное и вспомогательное время и повышает производительность обработки. Применение комбинированных

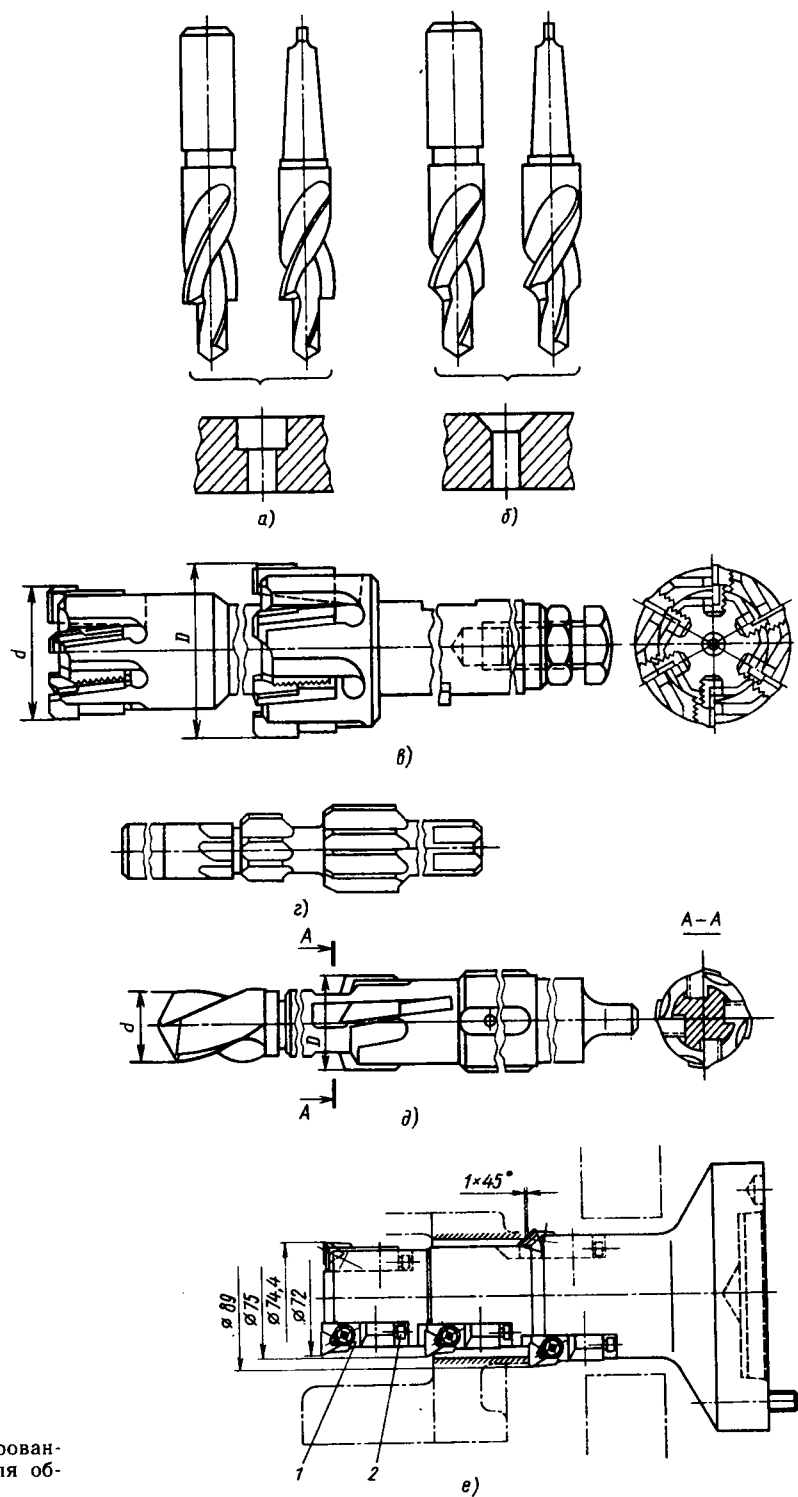


Рис. 2.74. Комбинированные инструменты для обработки отверстий

инструментов при обработке ступенчатых отверстий значительно уменьшает отклонение от соосности ступеней и повышает точность размеров между торцовыми поверхностями обрабатываемой заготовки. Комбинированные инструменты используют на сверлильных, револьверных, расточных, агрегатных станках, токарных автоматах, автоматических линиях, обрабатывающих центрах, их изготавливают из быстрорежущей стали и оснащают пластинами из твердого сплава.

При обработке цилиндрических отверстий широко применяют инструменты, являющиеся соединением инструментов разных типов, например сверло—зенкер, сверло—развертка, зенкер—развертка и др. Для обработки ступенчатых отверстий применяют инструменты, являющиеся соединением однотипных инструментов (ступенчатые сверла, зенкеры, развертки и др.).

Комбинированные сверла, зенкера и развертки приведены соответственно на рис. 2.74, а—г. Конструктивные и геометрические параметры таких инструментов выбирают аналогично ранее рассмотренным инструментам соответствующего типа. Недостатком этих конструкций является сравнительно небольшое число переточек. Этот недостаток устраняется в конструкциях сборных комбинированных инструментов, которые состоят из набора простых инструментов.

В зависимости от размеров обрабатываемых отверстий используют как цельные инструменты, так и инструменты со вставными ножами. На рис. 2.74, д приведена конструкция, в которой соединено сверло и зенкер со вставными ножами, а на рис. 2.74, е — комбинированная расточная головка для обработки ступенчатого отверстия. Головка оснащена специальными вставками 1, на которых закреплены многогранные пластины. В зависимости от размеров и формы обрабатываемого отверстия державки могут иметь различную конструкцию. Из-за того, что на головке расположено обычно несколько вставок (в представленной конструкции их пять), соответственно увеличивается производительность обработки. В торец вставок ввернут установочный винт

2 для регулировки их установки в корпусе головки.

Расточной инструмент. Для расточных операций применяют следующие типы инструментов:

стержневые резцы с одной режущей кромкой;

двусторонние пластинчатые резцы (резцы-блоки) с двумя или более режущими кромками;

расточные головки с одной или несколькими режущими кромками.

Расточные инструменты изготавливают из быстрорежущей стали и оснащают пластинами из твердых сплавов. Их применяют на токарных, револьверных станках, автоматах, автоматических линиях, многоцелевых и расточных станках.

При работе на станках токарной группы инструмент не вращается, а вращается заготовка.

При работе на многоцелевых, расточных станках и частично на станках, встроенных в автоматические линии, заготовка неподвижно закреплена на столе станка, а вращается инструмент.

Стержневые резцы с одной режущей кромкой применяют для растачивания

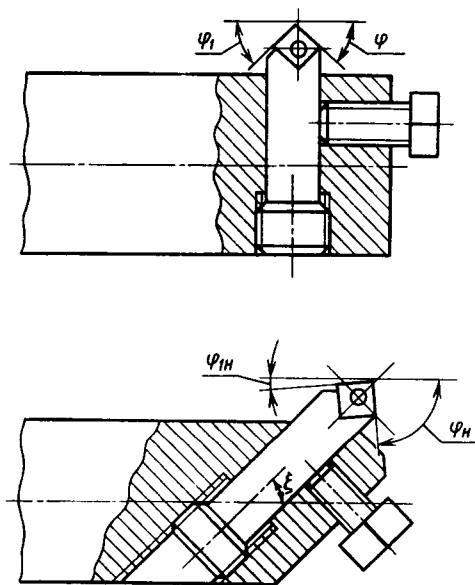


Рис. 2.75. Способы расположения расточных резцов при креплении их в оправках

отверстий как при вращающейся, так и при неподвижной заготовке. Резцы крепят непосредственно в суппорте стола или устанавливают на оправке. Резцы оснащают пластинами из быстрорежущей стали или твердого сплава, а также многогранными пластинами из твердого сплава с отверстием или без него. Державки выполняют различной формы: круглой, квадратной, прямоугольной. Конструкции стержневых резцов рассмотрены в § 2.1. Способы крепления расточных резцов в оправках приведены на рис. 2.75. При рас-

положении резца относительно оси отверстия под некоторым углом ξ углы в плане у резца меняются: $\varphi_H = \varphi + \xi$, $\varphi_{1H} = \varphi_1 - \xi$. Это надо учитывать при проектировании резца.

Для обеспечения необходимых углов α и γ надо установить резец в оправке так, чтобы его вершина была расположена на оси обрабатываемого отверстия. Для растачивания точных отверстий в случае необходимости подналадки размера на станке применяют расточные оправки, оснащенные микробором. Оправки такой кон-

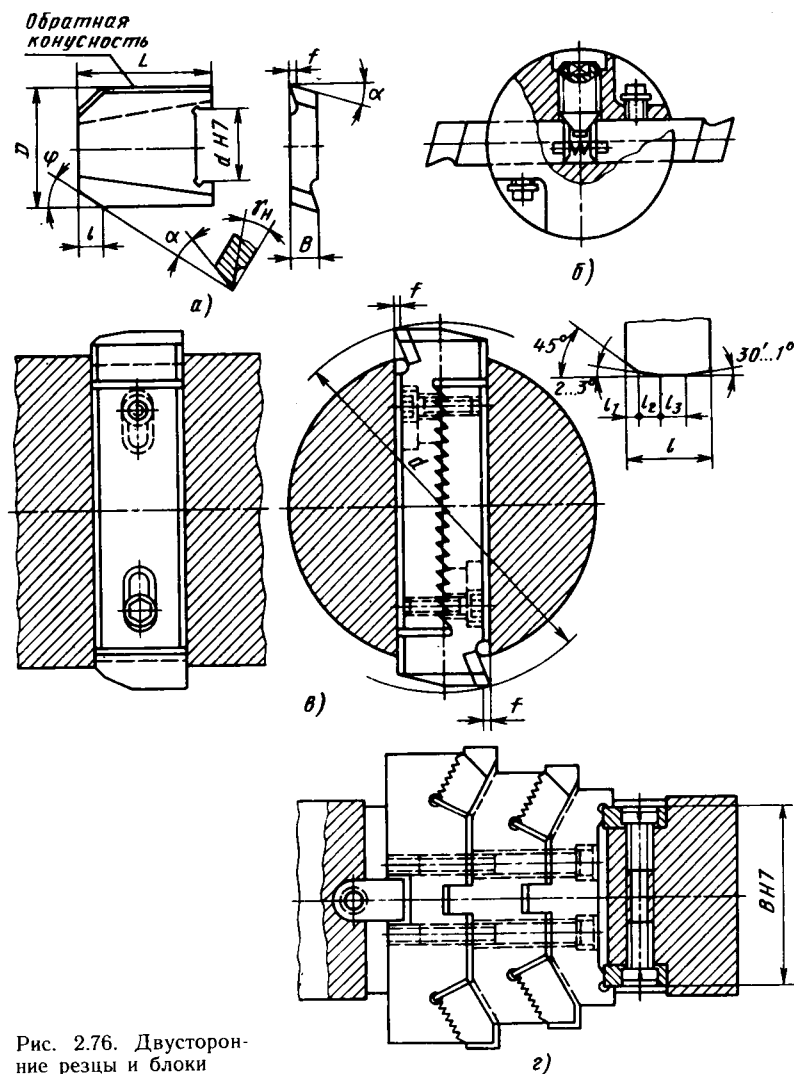


Рис. 2.76. Двусторонние резцы и блоки

струкции позволяют растачивать отверстия, начиная с диаметра 20 мм. Точность установки резца 0,01—0,005 мм. Установку резца контролируют по нониусу. Для использования в микрообразах применяют резцы с напайными пластинами из твердого сплава и оснащенные многогранными пластинами (см. рис. 4.11, б, ж).

Двусторонние пластинчатые резцы и блоки применяют для растачивания отверстий диаметров более 40 мм. По сравнению с однолезвийным инструментом они обладают большей производительностью.

Пластиновые резцы изготавливают целиком из быстрорежущей стали, а также оснащают пластинами из этой стали или из твердого сплава. Для лучшего использования и продления срока службы пластиновые резцы изготавливают сборной конструкции из двух частей. Такая конструкция резцов позволяет регулировать рабочий размер.

Пластиновый расточной резец цельной конструкции показан на рис. 2.76, а. Главные режущие кромки прямолинейны и наклонены к оси под главным углом в

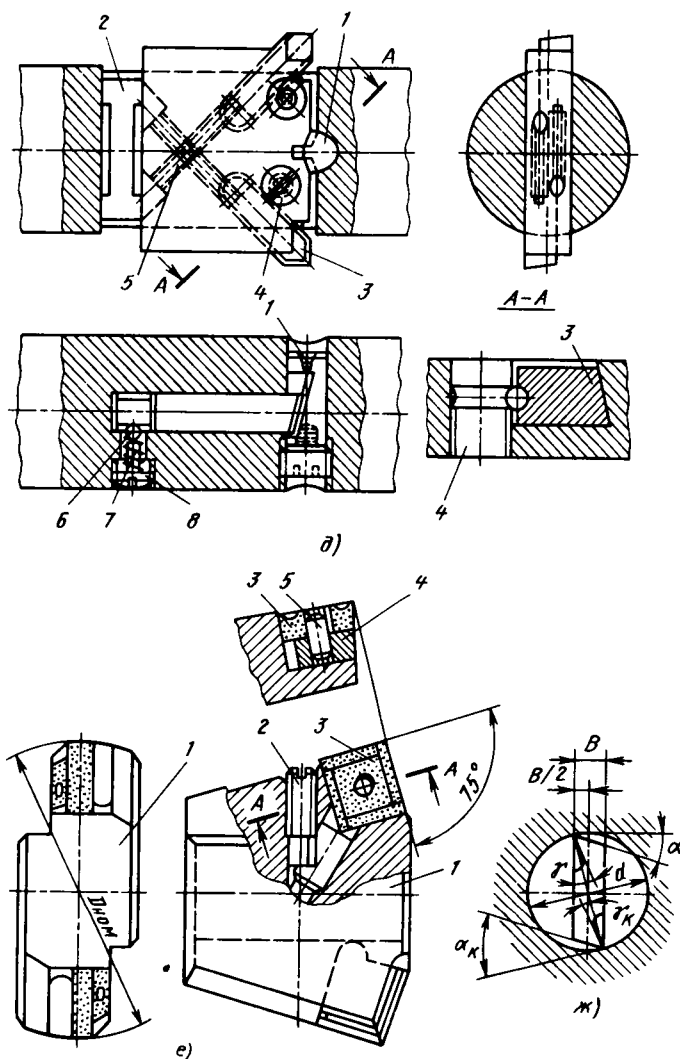


Рис. 2.76. Продолжение

плане, выбираемом в пределах 30—60°. На калибрующей части делают обратную конусность в пределах 0,04—0,15 мм на 100 мм длины. На нерабочем торце резца делают центрирующий паз для фиксации его на оправке.

Пластинчатый резец сборной конструкции приведен на рис. 2.76, б, в. В конструкции, показанной на рис. 2.76, б обе половины резца соединены пружиной и устанавливаются на размер винтом с коническим наконечником.

На рис. 2.76, в изображен пластинчатый резец для чистовой обработки, состоящий из двух половинок, которые снабжены рифлениями. Пластинчатый резец настраивают на размер после изнашивания путем перестановки половинок на одно или несколько рифлений относительно друг друга. Затем пластинчатый резец шлифуют на заданный размер по диаметру и затачивают. Режущая кромка пластинчатого резца состоит из четырех частей: направляющей фаски l_1 под углом 45°, режущей части l_2 , калибрующей части l_3 и участка с обратной конусностью. По задней поверхности вдоль калибрующей части образуются цилиндрические ленточки $f=0,2...0,5$ мм.

Расточные блоки состоят из корпуса с одной или несколькими парами регулируемых на необходимый размер резцов. Их применяют для предварительной и

окончательной обработки отверстий в корпусных деталях.

Сборный расточной блок для предварительной и окончательной обработки приведен соответственно на рис. 2.76, г и д. Паз ВН7 блока для предварительной обработки служит для центрирования блока относительно оси отверстия. Рифления позволяют переставлять вставки для восстановления необходимого диаметра при переточках. Блок для окончательной обработки крепят в расточной оправке штифтом 1, который с помощью конического скоса прижимает блок через вкладыш 2 к оправке. Вкладыш 2 ускоряет смену блока, для этого выдвигают штифт, выталкивают вкладыш и блок свободно вынимают из гнезда оправки. Трапецеидальные ножи 3 входят в пазы корпуса, и их крепят в нем винтом 4. Вылет ножа регулируют винтом 5. Для предохранения блока от выпадания в нерабочем положении предусмотрен шарик 6 с пружиной 7 и предохранительным винтом 8.

Конструкция расточного блока с многогранными твердосплавными пластинами (рис. 2.76, е) состоит из корпуса 1, двух четырехгранных пластин 3, двух подкладок 4 и крепежных деталей 2 и 5. Этот блок применяют при растачивании отверстий диаметром 50—150 мм. Расчет углов установки многогранных пластин в корпусе аналогичен расчету углов для зенкеров.

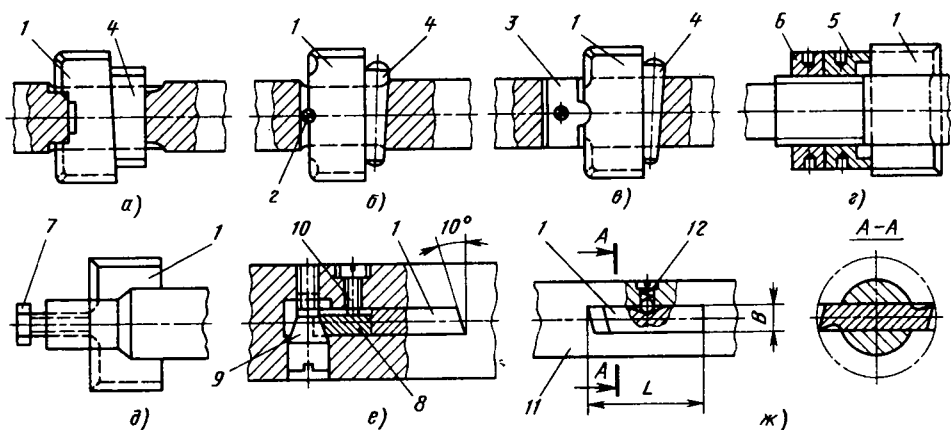


Рис. 2.77. Основные типы крепления двусторонних пластинчатых резцов и блоков в оправках

Схема крепления пластин показана на рис. 2.8, в.

При установке в обрабатываемом отверстии вершина пластинчатого резца, или блока, смещена относительно оси отверстия (рис. 2.76, ж), поэтому углы γ_k и α_k будут отличаться от углов γ и α , полученных при заточке пластины,

$$\gamma_k = \gamma - \Delta; \alpha_k = \alpha + \Delta,$$

где Δ — определяют из выражения $\sin \Delta = B/d$.

Типы крепления пластинчатых резцов в оправках показаны на рис. 2.77. Резец 1 (рис. 2.77, а) устанавливают в паз оправки, снабженный лысками, на которые заходят заплечики пластины с посадкой $H7/h6$. Крепят резец клином 4. Недостатком этой конструкции является быстрое изнашивание оправки по лыскам вследствие нажима на них заплечиков пластинчатого резца. На рис. 2.77, б показано крепление резца 1 с помощью клина 4, прижимающего резец к центрирующему штифту 2. На рис. 2.77, в показан другой вариант этого крепления. Резец 1 имеет полукруглый паз, в который входит центрирующий выступ вкладыша 3. Точное фиксирование и закрепление резца обеспечивается коническим штифтом 4. На рис. 2.77, г показано крепление гайкой 5 и контргайкой 6. Это крепление надежно, но сложно в изготовлении. На рис. 2.77, д представлено крепление винтом 7 с торца оправки. В конструкции на рис. 2.77, е резец 1 крепят с помощью вкладыша 8, упирающегося в коническую часть винта 9. Винт 10 предохраняет вкладыш от выпадения при вынимании резца. На рис. 2.77, ж представлено плавающее крепление пластинчатого резца 1 в оправке 11. Этот способ широко применяют при креплении чистовых пластинчатых резцов. Резец устанавливают в пазу с посадкой $H7/h6$ по ширине B и длине L , он может самоустанавливаться по подготовленному под чистовое растачивание отверстие. Плунжер 12 служит для предохранения пластинчатого резца от выпадения из оправки в нерабочем положении.

Применение пластинчатых резцов уменьшает разбивку отверстия в процессе обработки и улучшает качество обработки.

Расточные головки обладают большей производительностью по сравнению с другими расточными инструментами. Их широко применяют в автоматизированных производствах, в том числе на станках с ЧПУ. Конструкция расточных головок приведена в гл. 4.

§ 2.5. АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Абразивный инструмент широко применяют при обработке различных деталей машин, механизмов и приборов, он обеспечивает точность обработки до 1—4 мкм и параметр шероховатости поверхности Ra до 0,20—0,08 мкм. Более 21 % всего парка металлорежущих станков работает с использованием абразивного инструмента. В подшипниковой, автомобильной и моторостроительной промышленности станки для абразивной обработки составляют более 50 % общего числа станков. Абразивную обработку широко применяют в инструментальной промышленности, где все окончательные операции производят с применением абразивных инструментов.

Расширение областей применения труднообрабатываемых сталей и сплавов, повышение требований к точности изготовления и качеству поверхности деталей машин, механизмов и приборов, внедрение автоматических комплексов, в том числе гибких производственных систем и поточных линий значительно расширяет область применения абразивных инструментов.

В настоящее время в связи с применением мерных заготовок все больше переходят на их обработку непосредственно шлифованием, используя круги для скоростного и обдирочного шлифования. Абразивный инструмент — режущий инструмент, предназначенный для абразивной обработки (ГОСТ 21445—84). Абразивный инструмент имеет определенную геометрическую форму. Он состоит из абразивных зерен требуемого материала и размера (зернистости), скрепленных между собой связкой, кроме того, в абразивном инструменте имеются поры (пустоты). Соотношение между количеством связки и пор определяет твердость абразивного инструмента, между количе-

ством зерна и связки — его структуру. Твердость абразивного инструмента — свойство связки оказывать сопротивление выравниванию абразивных зерен из его рабочей поверхности.

У алмазных и эльборовых абразивных инструментов пор нет, и они состоят из зерна и связки, за исключением эльборовых инструментов на керамической связке, которые различаются по твердости и у которых предусматривают получение определенного количества пор в процессе изготовления.

К абразивным материалам, применяемым для изготовления абразивных инструментов, предъявляют следующие требования: он должен быть тверже, чем обрабатываемый материал, обеспечивать процесс резания (скобления, царапания) и самозатачивания, т. е. частично восстанавливать свои режущие свойства в процессе работы. Такими свойствами обладают минералы, которые и используют в виде абразивного материала. Абразивные материалы делят на природные (кварц, наждак, корунд и алмаз) и искусственные (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора).

Для изготовления абразивных инструментов применяют в основном искусственные абразивные материалы. Природные абразивные материалы (кроме алмаза) имеют ограниченное применение из-за своей неоднородности и недостаточной стабильности эксплуатационных свойств. Карбид бора обладает малой механической прочностью, его используют только в свободном состоянии в виде порошка для шлифования и доводки различных твердых материалов и сплавов. Остальные абразивные материалы используют как в свободном состоянии, так и для изготовления абразивных инструментов [2, 16].

Электрокорунд нормальный — рекомендуется для обдирочного шлифования деталей кругами на керамической и бакелитовой связках. Его выпускают следующих марок: 16А, 15А, 14А и 13А. Первые две рекомендуются для изготовления абразивного инструмента классов АА и А на керамической связке, остальные — для кру-

гов на керамической и органической связках, шлифовальной шкурки, при шлифовании свободным абразивом.

Электрокорунд белый, хромистый, хромтитанистый применяют для окончательного и скоростного шлифования стальных заготовок в закаленном и незакаленном состояниях кругами на керамической и бакелитовой связках. Круги из хромтитанистого электрокорунда обладают лучшими (чем круги из белого электрокорунда) эксплуатационными свойствами и обеспечивают повышение производительности на 20—30 %. Электрокорунд белый выпускают следующих марок: 25А, 24А, 23А, 22А; хромистый электрокорунд марок: 34А, 33А; хромтитанистый электрокорунд марок 92А и 91А выпускают на основе белого электрокорунда, а марок 94А и 93А — на основе нормального электрокорунда.

Электрокорунд циркониевый марки 38А применяют для обдирочного шлифования стальных заготовок кругами на бакелитовой связке. Стойкость инструмента из него в 10—40 раз и более выше стойкости инструмента из нормального электрокорунда.

Монокорунд — электрокорунд в виде отдельных кристаллов или их осколков; его рекомендуют для окончательного шлифования деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов инструментами на керамической связке; выпускают трех марок: 45А, 44А, 43А.

Карбид кремния зеленый марок 64С и 63С рекомендуется для обработки заготовок из твердых сплавов, чугуна, цветных металлов, гранита, мрамора инструментами на всех связках.

Карбид кремния черный марок 55С, 54С, 53С применяют для обработки заготовок из вольфрамовых твердых сплавов, чугуна, цветных металлов инструментами на всех связках.

Природные и синтетические алмазы регламентированы ГОСТ 9206—80Е. Шлифовальные порошки из природных алмазов выпускают следующих марок: А1, А2, А3, А5, А8; из синтетических алмазов — АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50. Цифровой индекс у природных алмазов указывает содержание зерен изометри-

ческой формы, выраженное десятками процентов, у синтетических алмазов — среднеарифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки, выраженное в ньютонах.

Микropopoшкu выпускают нормальной и повышенной абразивной способности. Микropopoшкu нормальной абразивной способности из природных алмазов обозначают АМ, из синтетических алмазов АСМ, микropopoшкu повышенной абразивной способности соответственно обозначают АН и АСН. К буквенному обозначению субмикropopoшкoв добавляют цифровой индекс 5, 1, обозначающий долю зерен крупной фракции в процентах: 5 — содержание крупной фракции до 5 %; 1 — до 1 %.

Природные алмазы применяют в строительной промышленности, при обработке камня, технического стекла, бетона, керамики, а также при изготовлении бурового и правящего инструмента (А5, А8). Синтетические алмазы АС2, АС4, АС6 рекомендуются применять при обработке заготовок из твердых сплавов, керамики, камней и цветных металлов: АС2 и АС4 — для инструментов на органической связке, АС6 — для инструментов на металлической связке; АС15—АС50 — для инструментов на металлической связке, работающих в тяжелых условиях, при обработке неметаллических материалов. Микropopoшкu и субмикropopoшкu используют для доводки и полирования заготовок из труднообрабатываемых сталей, сплавов, твердых неметаллических материалов, полупроводников.

Порошки из синтетических поликристаллических алмазов, получаемые путем дробления синтетических алмазов соответствующей марки (баллас АРВ-1; карбонадо АРК-4; спекы АРС-3), рекомендуются применять при изготовлении инструментов для предварительного хонингования, резки стеклопластиков, бурения, обработки камней, правки шлифовальных кругов.

Кубический нитрид бора (эльбор, кубонит) применяют для обработки заготовок из стали и чугуна. Его применение особенно эффективно при окончательном и профильном шлифовании термообработанных

заготовок из высоколегированных конструкционных жаропрочных и коррозионно-стойких сталей высокой твердости и заточки стальных режущих инструментов. При этом расход абразивного инструмента снижается в 50—100 раз по сравнению с расходом электрокорунда.

В зависимости от показателя механической прочности эльбор разделяют на марки: ЛО — обычной прочности, ЛП — повышенной механической прочности, ЛКВ — высокопрочный КНБ. Так, эльбор зернистостью 20 марки ЛО имеет механическую прочность не менее 3,0 Н, марки ЛП — 6,1 Н, марки ЛКВ — 7,1 Н. Микropopoшкu из эльбора выпускают двух марок: ЛВМ — с высоким содержанием зерен основной фракции и ЛПМ — с повышенным содержанием зерен основной фракции.

Эльбор обычной механической прочности применяют для изготовления инструментов на органической связке и шлифовальной шкурки. Эльбор повышенной механической прочности применяют для изготовления инструментов на керамической и металлической связках, для обдирочного шлифования, глубинной заточки, обработки заготовок из труднообрабатываемых конструкционных сталей и быстрорежущих сталей. Эльбор марки ЛКВ используют для производства инструментов на металлической связке, предназначенных для работы в тяжелых условиях. Микрошлифпорошки предназначены для доводочных работ [35].

Кубонит выпускают двух марок: КО — обычной прочности, КР — повышенной прочности. Кроме того, из кубонита выпускают две марки микropopoшкoв: нормальной КМ и повышенной КН абразивной способности. Инструменты из кубонита имеют одинаковые с эльборовым инструментом эксплуатационные свойства. Его используют в тех же целях [3].

Абразивные инструменты работают при скоростях резания значительно больших, чем скорости резания при работе лезвийным режущим инструментом. Изменяя соотношения между различными компонентами абразивного инструмента, меняют его эксплуатационные свойства, что позволяет обрабатывать ими различные

материалы (от заготовок из кожи, резины и дерева до заготовок из труднообрабатываемых закаленных сталей с высокой твердостью, из твердых сплавов и твердых неметаллических материалов).

Исходными данными при проектировании абразивных инструментов являются: материал обрабатываемой заготовки, его состояние, форма, размеры, расположение обрабатываемых поверхностей, требования по точности обработки, шероховатости поверхности, вид обработки и тип станка, на котором производится обработка.

Инструменты из электрокорунда и карбида кремния характеризуются формой, размерами, абразивным материалом и его зернистостью, связкой, твердостью и структурой.

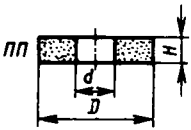
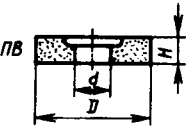
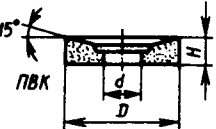
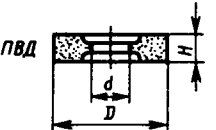
Форма и размеры абразивных инструментов установлены государственными стандартами: ГОСТ 2424—83 (круги шлифовальные), ГОСТ 2447—82 (головки

шлифовальные). ГОСТ 2464—82 (сегменты шлифовальные), ГОСТ 2456—82 (бруски шлифовальные). Основные виды шлифовальных кругов приведены в табл. 2.3.

На кругах диаметром свыше 40 мм маркируют товарный знак предприятия-изготовителя, марку абразивного материала, зернистость, степень твердости, марку связки, класс точности. У кругов диаметром свыше 250 мм дополнительно указывают размеры круга ($D \times H \times d$), структуру, рабочую скорость, на которой может работать круг, класс неуравновешенности. Маркировку кругов диаметром до 40 мм наносят на упаковку.

Наиболее широкое применение из выпускаемых шлифовальных кругов имеют круги прямого профиля ПП. Их применяют для круглого, наружного, внутреннего, бесцентрового и плоского шлифования. При шлифовании отверстий диаметр круга выбирают в пределах 0,7—0,9 диаметра

2.3. Основные типы и размеры абразивных кругов на керамических и органических связках

Шлифовальный круг	Форма круга	Размеры, мм
Прямого профиля		$D = 3 \dots 1060$ $H = 1 \dots 250$ $d = 1 \dots 305$
С выточкой: прямой		$D = 10 \dots 600$ $H = 13 \dots 100$ $d = 3 \dots 305$
конической		$D = 300 \dots 750$ $H = 50, 80$ $d = 127 \dots 305$ $\alpha = 10, 15, 20^\circ$
двусторонней прямой		$D = 100 \dots 900$ $H = 25 \dots 250$ $d = 32 \dots 305$

Шлифовальный круг	Форма круга	Размеры, мм
двусторонней конической		$D = 750$ $H = 80$ $d = 305$
Диски (на органической связке)		$D = 100...400$ $H = 0,6...4$ $d = 20...50$
Чашечные цилиндрические		$D = 40...300$ $H = 25...100$ $d = 13...127$
Чашечные конические		$D = 50...300$ $H = 25...150$ $d = 13...150$
Тарельчатые		$D = 80...350$ $H = 8...40$ $d = 13...127$
С коническим профилем: двусторонним		$D = 250...500$ $H = 10...32$ $d = 76...203$ $\alpha = 40...60^\circ$
односторонним		$D = 63...500$ $H = 10...50$ $d = 10...203$ $\alpha = 10, 15, 18, 20, 35, 45^\circ$

отверстия. Бесцентровое шлифование применяют при обработке наружных и внутренних поверхностей.

На плоскошлифовальных станках обработку ведут либо периферией, либо торцом круга. Круги формы Т применяют для заточки инструмента по передней поверхности, формы ЧЦ и ЧК — для заточки по задней поверхности, круги формы 2П — для шлифования резьбы, зубьев колес, пазов и др. Для отрезных и прорезных работ применяют круги формы Д (диски).

Шлифовальные головки (рис. 2.78, а) применяют для обработки различных фасонных поверхностей штампов, прессформ и др. с помощью ручных бормашинок или на станках. Головки цилиндрической формы АШ используют также для обработки отверстий малых диаметров.

Шлифовальные бруски (рис. 2.78, б) применяют для ручной обработки, а также хонингования и суперфиниширования. Хонингование является одним из наиболее производительных, точных и экономичных методов окончательной обработки, и применяют его чаще всего при обработке сквозных гладких цилиндрических отверстий диаметром от 18 до 1500 мм, реже — для обработки глухих отверстий и отверстий, снабженных пазами. Хонингование обеспечивает точность обработки до $H6-H5$ и параметр шероховатости поверхности $Ra=0,16...0,01$ мкм. Обработку ведут хонинговальными головками, оснащенными абразивными брусками, на специальных станках вертикального или горизонтального типа, при вращательном и поступательном движениях.

Суперфиниширование — доводка, осуществляемая при одновременно выполняемых колебательном движении абразивного инструмента и вращении заготовки. Применяется для обработки плоскостей, наружных и внутренних цилиндрических поверхностей и др. Для суперфиниширования применяют шлифовальные бруски зернистостью от 3 до M14, а также алмазные и эльборовые бруски. В процессе обработки бруски совершают от 500—600 до 2000—3000 дв. ход/мин с амплитудой 2—5 мм. Обрабатываемая заготовка при этом имеет скорость 20—45 м/мин, совершая 700—3000 ход/мин. В результате

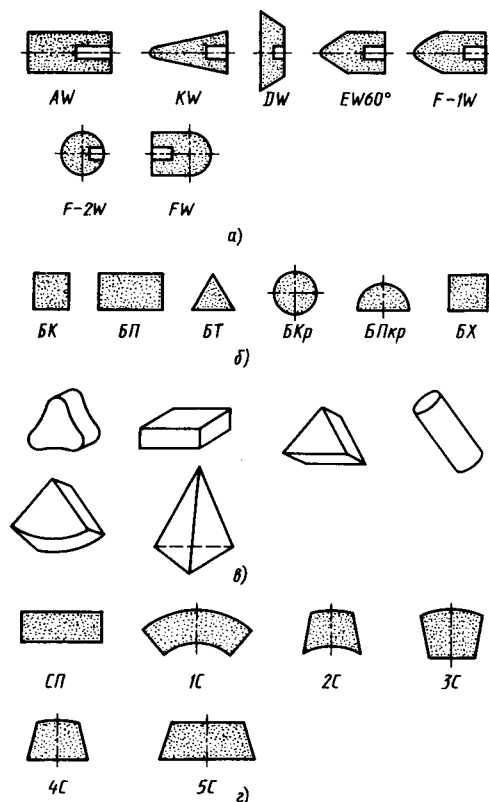


Рис. 2.78. Основные профили абразивных инструментов:

а — головки шлифовальные (ГОСТ 2447—82): АШ — цилиндрическая; КШ — коническая с закругленной вершиной; ДШ — угловая; ЕШ60° — коническая; с углом конуса 60°; F-1Ш — сферическая; F-2Ш — шаровая; FШ — шаровая с цилиндрической боковой поверхностью; б — бруски шлифовальные (ГОСТ 2456—82): БК — квадратные; БП — плоские; БТ — трехгранные; БКр — круглые; БПкр — полукруглые; БХ — хонингованные плоские; в — абразивные тела для виброабразивной обработки; г — сегменты шлифовальные (ГОСТ 2464—82): СП — плоские; IC — выпукло-вогнутый; 2С — вогнуто-выпуклый; 3С — выпукло-плоский; 4С — плоско-выпуклый; 5С — трапециевидный

этой обработки обеспечивают параметр шероховатости до $Ra=0,16...0,01$ мкм и отклонение от заданной формы не более 5 мкм.

Для обработки заготовок во вращающихся барабанах и вибрационных установках, в процессе которой удаляются заусенцы, следы коррозии, окалина, притупляются кромки и повышается качество поверхности, используют специальные абразивные тела (рис. 2.78, в), которые вместе с деталями загружают в барабан.

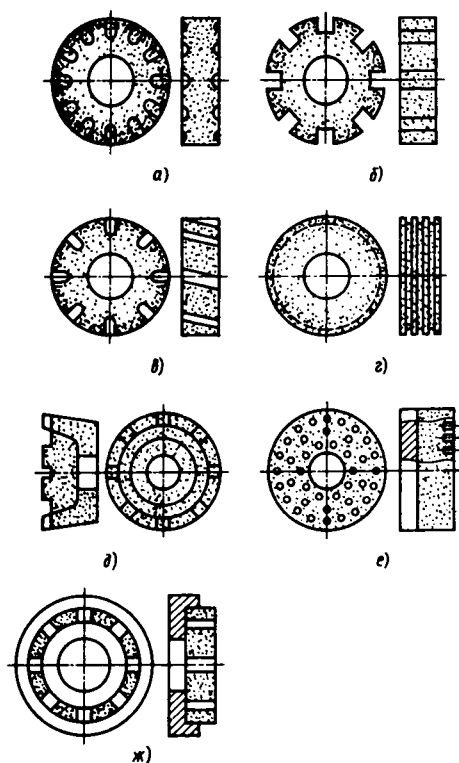


Рис. 2.79. Круги с прерывистой рабочей поверхностью:

а — с выточками; б — с прямыми пазами; в — с наклонными пазами; г — с кольцевыми канавками; д — с пазами на торце; е — с отверстиями; ж — сегментные

Шлифовальные сегменты (рис. 2.78, г) применяют для образования сборных шлифовальных кругов больших размеров, работающих торцом, для обдирочной обработки. Сегменты крепят на планшайбе, которую устанавливают на шпинделе станка. Сегментные круги обеспечивают удобство подвода СОЖ, отвода отходов шлифования, уменьшают зону соприкосновения круга с заготовкой и нагрев ее в процессе шлифования. Все это позволяет повысить режимы обработки и сократить время обработки. Этому же добиваются, создавая у кругов прерывистую рабочую поверхность за счет пазов или отверстий (рис. 2.79).

Для обработки различных заготовок применяют абразивные материалы, зерна которых не закреплены жестко между собой. К этой категории абразивных мате-

риалов относят порошки, абразивные пасты (жидкие, мазеобразные, твердые и гидроабразивные суспензии), применяемые для доводочных работ.

Выбор зернистости абразивного инструмента. Зернистость — условное обозначение шлифовального материала, соответствующее размеру абразивных зерен основной фракции. По ГОСТ 3647—80 абразивные материалы делят на четыре основные группы: шлифзерно, шлифпорошки, микрошлифпорошки, тонкие микрошлифпорошки.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков выражают в сотых долях миллиметра, зернистость микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков в микрометрах.

Шлифзерно: 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16.

Шлифпорошки: 12, 10, 8, 6, 5, 4.

Микрошлифпорошки: М63, М50, М40, М28, М20, М14.

Тонкие микрошлифпорошки: М10, М7, М5.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции при их просеивании. Зернистость микропорошков обозначают по верхнему пределу зерен основной фракции. Зерновой состав шлифовальных материалов характеризуют процентным содержанием следующих фракций: предельной, крупной, основной, комплексной и мелкой. Размеры зерна основной фракции устанавливают в зависимости от зернистости.

В зависимости от процентного содержания зерен основной фракции зернистость подразделяют на четыре индекса: В — с высоким содержанием (60—55 %) для микрошлифпорошков, П — с повышенным (55—45 %) для кругов класса АА диаметром до 300 мм, Н — с нормальным содержанием (45—40 %) для кругов диаметром свыше 300 мм, заточных кругов и кругов для обработки неметаллических материалов, Д — с допустимым содержанием (41—37 %) для кругов на органической связке и шкурки.

Зернистость абразивного инструмента выбирают исходя из его назначения и требуемого качества поверхности обработанной детали. Инструменты с более круп-

ными зернами дают возможность работать с большими глубинами шлифования, меньше засаливаются и более производительны, однако при этом ухудшаются качество и точность обрабатываемой поверхности. Для зачистки заготовок, отливок, поковок, штамповок применяют круги зернистостью 125—80, для плоского шлифования торцом круга, заточки резцов, отрезки и правки абразивного инструмента — круги зернистостью 80—50, для заточки режущих инструментов — круги зернистостью 63—25 ($Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм), для чистового шлифования, обработки фасонных поверхностей, заточки мелких инструментов — круги зернистостью 32 — 16 ($Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм), для отделочного шлифования, суперфиниширования, окончательного хонингования и доводки инструменты зернистостью 6-М40 и меньше ($Ra = 0,32 \dots 0,01$ мкм).

Выбор связок абразивного инструмента. Связка закрепляет зерна в абразивном инструменте. В качестве связок применяют неорганические вещества (керамические, магнезиальные, силикатные), металлы, органические вещества (естественные — шеллаковые связки), синтетические (бакелитовые, вулканистые, эпоксидные, глифталиевые связки). Комбинации органических и неорганических веществ образуют металлоорганические, металло-керамические и другие виды связок.

На керамической связке выпускают до 60 % абразивных инструментов, на бакелитовой 30 %, на вулканистой 5—7 % и на других связках 3—5 %. Инструменты на керамической связке обладают высокой прочностью, хрупкостью, жесткостью, химической стойкостью, их рекомендуют для выполнения всех видов шлифования, кроме обдирки на подвесных станках, отрезки, прорезки узких пазов, плоского шлифования торцом круга. В промышленности применяют несколько видов керамических связок: для инструмента из электрокорундовых материалов — К1, К2, К4, К5, К6, К8, для инструментов из карбидокремниевых материалов К3, К10.

Ниже приведены наиболее распространенные керамические связки, применяемые для изготовления абразивных инструментов. Керамические связки разделяют на

спекающиеся при термической обработке (К3, К10), применяемые для изготовления инструментов из карбида кремния, и плавящиеся (К5, К8), обеспечивающие наиболее эффективное связывание белого и нормального электрокорундов. Для изготовления инструментов из легированных электрокорундов рекомендуют связку К6, изготавливаемую на основе бариевого стекла. Основой всех связок является кремнезем (SiO_2) и глинозем (Al_2O_3), содержание которых в связках колеблется для различных марок от 74 до 86 %. Кроме того, в связки входят различные сорта жидкого стекла, ряд окислов металлов и другие элементы.

При изготовлении инструментов из карбида кремния не рекомендуется применять плавящиеся связки, так как при расплавлении этих связок жидкая фаза входит во взаимодействие с зернами карбида кремния и разлагает их на кремний и углерод, что ухудшает их режущие свойства.

В последнее время для изготовления высокопрочных кругов, работающих со скоростью 80 м/с и более, широко применяют плавящую связку К43, изготавливаемую на основе литийсодержащего борного стекла с добавкой фтористых соединений.

Круги на бакелитовой связке имеют по сравнению с керамическими более высокую прочность, особенно при работе на сжатие, и большую упругость. В качестве основы в бакелитовой связке применяют бакелит в виде порошков (пультвербакелит — смесь новолочной смолы с уротропином) или жидкости (жидкая резольная смола).

Прочность кругов из карбида кремния, изготовленных на жидком бакелите, ниже на 15—20 %, а кругов из электрокорунда ниже на 5—10 %, чем кругов, изготовленных на пультвербакелите. На бакелитовой связке, так же как и на керамической, изготавливают абразивные инструменты всех форм и размеров. Кроме того, на бакелитовой связке изготавливают круги толщиной до 1 мм и меньше, применяемые для отрезки и прорезки узких пазов.

К недостаткам бакелитовой связки следует отнести ее невысокую теплостойкость.

При нагреве до 200 °С она приобретает хрупкость, а при длительном нагреве при температуре 250—300 °С выгорает. При охлаждении щелочными растворами (свыше 1,5 % щелочи) абразивные инструменты на бакелитовой связке несколько теряют свою твердость и прочность. Инструменты на бакелитовой связке обладают высокой самозатачиваемостью в процессе работы и обеспечивают меньший нагрев обрабатываемой заготовки по сравнению с обработкой инструментами на керамической связке.

В абразивный инструмент на бакелитовой связке иногда вводят наполнитель, его назначение — придать инструменту необходимые физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства [16]. Наполнителями обычно служат: неабразивные материалы, которые уменьшают нагрев заготовок при шлифовании за счет повышения их теплопроводности (соединения металлов, антифрикционные вещества типа СОЖ), вещества, активизирующие процесс шлифования путем химического воздействия с обрабатываемым материалом (сера, галогеносодержащие вещества и т. п.), и вещества, повышающие адгезию абразивного зерна к связке (жидкие компоненты абразивных паст, минеральных веществ и т. п.).

Бакелитовые связки имеют три основные разновидности: Б и Б1, изготавливаемые из пульвербакелита, Б2, получаемую из жидкого бакелита, и специальную Б3, применяемую для изготовления резбошлифовальных и тонких отрезных кругов. Связку Б изготавливают с наполнителем криолитом, для увлажнения в нее добавляют жидкий бакелит. Связка Б1 отличается от Б наполнителем.

Вулканитовая связка является провulkanизированной смесью каучука с серой. Для ее изготовления применяют синтетические каучуки. В зависимости от содержания серы регулируется процесс вулканизации. При содержании серы до 15 % изделие получают мягким, эластичным; при введении серы до 60 % — жестким, твердым. Первые используют для полирования и отделочных операций, вторые — для резки, глубинного шлифования и т. п. Для ускорения процесса вулканизации

используют порошки каптакса, альтаков и тиурама в количестве 0,5—3 %. Для повышения прочности изделий в связку вводят асбест, каолин, глину, криолит и т. п. Повышение теплостойкости обеспечивают введением в связку металлических композиций или пирита. Для повышения формовочных свойств смеси, регулирования твердости изготавливаемого абразивного инструмента и повышения адгезии связки к зерну в качестве мягчителей в смесь добавляют органические вещества: жирные кислоты, рубракс, полидиены, идиол и дибутилфталат. Количество мягчителя подбирают эмпирически в зависимости от требуемой твердости инструмента.

Вулканитовая связка прочно удерживает зерно, но будучи эластичной, деформируется при работе, что снижает процесс самозатачивания. При этом повышается полирующая способность инструмента, но производительность обработки снижается. В отличие от инструментов на других связках, инструмент на вулканитовой связке содержит на 10—20 % шлифовального зерна больше, а пористость его соответственно ниже.

Для увеличения процесса самозатачивания кругов на бакелитовой связке используют вещества, повышающие пористость (поваренную соль, нафталин), которые растворяются или выводятся при термической обработке, за счет чего образуются поры, и хрупкие материалы (известняк, мрамор, гипс, уголь, кварц и т. д.), которые выкрашиваются непосредственно в процессе шлифования, образуя при этом поры.

Для повышения прочности и эксплуатационных свойств инструмента применяют наполнители — окиси магния и цинка. При оптимальном содержании наполнителя (10—20 %) прочность связки увеличивается в 10—15 раз. На вулканитовой связке делают жесткие круги В, В1, В2, В3, применяемые для отрезки и прорезки пазов, и гибкие 1ГК—4ГК, применяемые для полирования и отделочного шлифования.

Кроме шлифовального материала, зернистости, связки абразивный инструмент характеризуется твердостью и структурой. Твердость абразивных инструментов опре-

деляется свойством связки оказывать сопротивление прониканию в абразивный инструмент другого тела.

По твердости шлифовальные инструменты делят на восемь основных групп: ВМ — весьма мягкие; М — мягкие; СМ — среднемягкие; С — средние; СТ — среднетвердые; Т — твердые; ВТ — весьма твердые; ЧТ — чрезвычайно твердые. Внутри группы твердость инструментов разделяют по номерам, причем большему номеру соответствует большая твердость в группе. Всего шлифовальные инструменты выпускают 18 различных твердостей — от ВМ1 до ЧТ2, условно обозначенных номерами 0—17:

Твер- дость	ВМ1	ВМ2	М1	М2	М3	СМ1
Номер	0	1	2	3	4	5
Твер- дость	СМ2	С1	С2	СТ1	СТ2	СТ3
Номер	6	7	8	9	10	11
Твер- дость	Т1	Т2	ВТ1	ВТ2	ЧТ1	ЧТ2
Номер	12	13	14	15	16	17

Для некоторых видов инструмента, например шарошлифовальных кругов, предусматривают дополнительные твердости ЧТ от ЧТ3 до ЧТ9. При увеличении твердости круга на одну ступень объем связки увеличивают на 1,5 % и соответственно уменьшают объем пор.

При выборе твердости абразивного круга руководствуются следующим: чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть круг. В этом случае режущие зерна будут быстрее изнашиваться, поэтому необходимо, чтобы они быстрее удалялись и заменялись другими, более острыми. При этом быстро теряется форма профиля круга, для ее сохранения при обработке термообработанных стальных заготовок фасонного профиля применяют более твердые круги. Так, при шлифовании резьбы применяют круги твердостью до СТ1 на керамической связке и до Т1 на органической. При шлифовании роликовых дорожек у колец подшипников используют круги твердостью до Т1 на керамической связке, при шлифовании шариков шарикоподшипников и деталей часо-

вых механизмов — круги твердостью ВТ1—ЧТ2.

При обработке мягких материалов зерна дольше сохраняют свои режущие свойства, поэтому круг должен быть тверже, чтобы незатупившиеся или малоизношенные зерна дольше оставались в нем. При шлифовании мягких и вязких материалов надо брать более мягкие круги, иначе они будут засаливаться.

Под структурой абразивного инструмента понимают соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор. Обычно эти соотношения выражают в процентах от общего объема инструмента, принятого за 100 %. В абразивном инструменте на любой связке имеются поры, причем в инструменте на керамической и бакелитовой связках поры занимают больший объем, чем в инструментах на вулканитовой связке. Увеличение количества пор в круге и их размеров облегчает удаление стружки, образовавшейся в процессе шлифования, и улучшает условия охлаждения места контакта инструмента и детали, при этом быстрее идет процесс самозатачивания инструмента и облегчается шлифование, особенно труднообрабатываемых материалов. Но инструмент с высоким содержанием пор менее прочен и подвергается большему изнашиванию, чем плотный. В табл. 2.4 представлены структуры абразивного инструмента. Абразивный инструмент для каждой опера-

2.4. Содержание абразивного зерна в зависимости от номера структуры

Структура	Номер структуры п	Содержание абразивного зерна, %
Закрытая или плотная	0	62
	1	60
	2	58
	3	56
	4	54
Средняя	5	52
	6	50
	7	48
	8	46
Открытая	9	44
	10	42
	11	40
	12	38

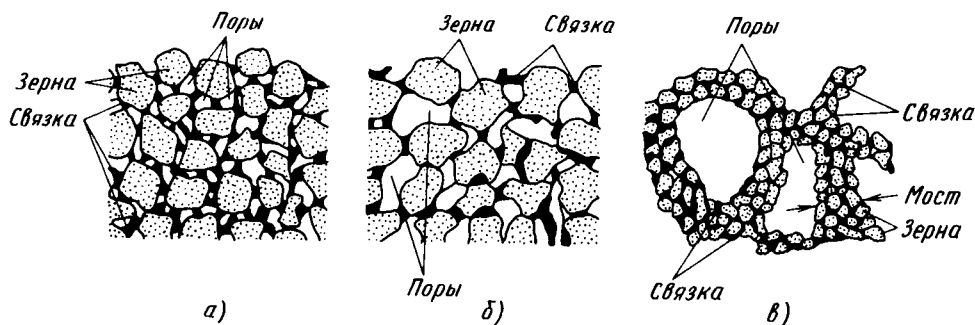


Рис. 2.80. Структура абразивного инструмента: а — плотная; б — открытая; в — высокопористая

ции должен иметь определенную структуру, которую обозначают от № 0 до № 12 и которая зависит от содержания в круге абразивного зерна и связки при неизменном объеме пор. Например, для получения каждого последующего номера структуры уменьшают на 2 % содержание зерен и соответственно увеличивают содержание связки.

Плотная и открытая структура абразивного инструмента представлена соответственно на рис. 2.80, а, б. Плотная структура имеет более тесную связь между зернами и более мелкие поры. Для улучшения охлаждения шлифуемых деталей, лучшего отвода стружки и уменьшения массы инструмента рекомендуют применять высокопористые круги, объем пор в которых достигает 75 % (рис. 2.80 в) благодаря применению наполнителей, которые, выгорая в процессе термической обработки, образуют в абразивном инструменте поры. Высокопористыми обычно изготавливают круги прямого профиля больших размеров. Структуру высокопористых кругов обозначают по номерам № 13—№ 21. В структуре № 13 содержится 36 % абразивного зерна, в каждой последующей структуре зерна на 2 % меньше, чем в предыдущей.

Структура абразивного инструмента

$$V_{кр} = V_{зер} + V_{св} + V_{пор} = 100 \%. \quad (2.52)$$

Содержание в абразивном инструменте объема зерна, связки и пор в процентах от объема круга определяют по соответствующим формулам:

$$V_{зер} = 62 \% - 2n \%; \quad V_{св} = -11,5 \% + 1,5N \% + 2n \%; \quad V_{пор} = 49,5 \% - 1,5N \%,$$

где N и n — условные обозначения твердости и структуры.

Для обеспечения работоспособности круга количество связок в нем должно быть не менее 0,5 %, а поэтому

$$V_{св} = -11,5 + 1,5N + 2n \geq 0,5 \%.$$

Расчет объемного (m^3) количества зерна $V_{зер}$ и связки $V_{св}$, необходимого для изготовления абразивного инструмента на керамической связке, определяют по формулам:

$$V_{зер} = V_{кр} \frac{V'_{зер}}{100}; \quad V_{св} = V_{кр} \frac{V'_{св}}{100},$$

где $V_{кр}$ — объем круга, m^3 ; $V'_{зер}$ и $V'_{св}$ — процентное содержание зерен и связки соответственно.

Массу (кг) зерна $g_{зер}$ и связки $g_{св}$ в весовых единицах определяют по формулам:

$$g_{зер} = V_{зер} \rho_{зер}; \quad g_{св} = V_{св} \rho_{св},$$

где $\rho_{зер}$ и $\rho_{св}$ — плотность зерна и связки соответственно.

Плотность карбида кремния $3200 \text{ кг}/m^3$, электрокорунда нормального $3900 \text{ кг}/m^3$, электрокорунда белого, хромистого, титанистого $3950 \text{ кг}/m^3$, циркониевого $4100 \text{ кг}/m^3$, монокорунда $3970 \text{ кг}/m^3$, керамических связок $2300—2600 \text{ кг}/m^3$.

При составлении рецептур расчетное количество связки должно быть увеличено на 5—6 %, так как при обжиге удаляется влага, входящая в состав компонентов связки, например глины.

Для лучшего удержания зерен на поверхности круга номер структуры выбирают в зависимости от зернистости абразивного материала; так, круги зернистостью 125—80 обычно делают со структу-

рой 3, 4: зернистостью 50—40 — со структурой 5, 6: зернистостью 25—12 — со структурой 7, 8. При шлифовании прерывистых и фасонных поверхностей выбирают круги со структурой 3—5. При скоростном шлифовании для лучшего охлаждения и подвода СОЖ применяют высокопористые круги со структурой 13—21.

Абразивные круги работают при скорости резания 25—35 м/с, с продольной подачей от 8 до 40—50 м/мин и глубиной шлифования 0,005—0,03 мм. Шлифуют в большинстве случаев с применением смазочно-охлаждающих жидкостей: водных растворов солей, эмульсий и минеральных и растительных масел. Заточку производят в основном без применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

Круги для скоростного и обдирочного шлифования. При скоростном шлифовании заготовку обрабатывают со скоростью 60—80 м/с, при отрезке — со скоростью, достигающей до 100—120 м/с. С увеличением скорости шлифовального круга уменьшаются сечения среза и силы резания, приходящиеся на режущую кромку зерна, при этом уменьшаются высота микронеровностей на обработанной поверхности и расход абразива, повышается стойкость шлифовального круга. Это позволяет увеличить минутную подачу для получения поверхности одинакового качества. Установлено, что при повышении скорости круга от 35 до 80 м/с машинное время шлифования снижается в 2—3 раза.

При обдирочном шлифовании обработку производят с глубиной резания, достигающей до 5 мм и выше. Обдирочное шлифование чаще используют при врезном шлифовании и применяют для обработки заготовок после литья,ковки и в других случаях, требующих удаления большой массы металла. Обдирочное шлифование производят при скорости круга 35—80 м/с и с силой прижима круга к заготовке до 10 кН, при этом съем металла достигает 300 килограммов в час и выше при коэффициенте шлифования (отношение снятого материала к израсходованному материалу круга, выраженного в объемах) не менее 12.

Как при скоростном, так и при обдирочном шлифовании значительно повышается

нагрузка на круг, поэтому для предохранения круга от разрыва его прочность должна быть увеличена. Это обеспечивают применением высокопрочных связей ($\sigma_{изг} \geq 60$ МПа): керамических на основе литийборфторсодержащего стекла (связка К43) и органических на основе специальных термореактивных смол. При скорости круга до 60 м/с применяют также связку К5.

Прочность круга для возможности работы им при скоростях 70—80 м/с повышается следующими способами. 1. Упрочнение нерабочей центральной части круга за счет применения мелкозернистых смесей, образующих плотную, прочную композицию со связкой, или пропиткой центральной части кругов на керамической связке прочными термопластичными составами, эпоксидной смолой и т. д. с последующим их отверждением при $t = 160 \dots 190^\circ\text{C}$ (рис. 2.81, а). 2. Упрочнение центральной части кругов за счет запрессовывания втулки из особо прочных материалов: стеклопластиков, металлических колец (у инструментов на бакелитовой связке) (рис. 2.81, б). 3. Упрочнение кругов отрезных и прямого профиля на бакелитовой связке за счет установки внутри круга прокладок из стеклопластиковых сеток (рис. 2.81, в). Для отрезных кругов устанавливают одну прокладку, для кругов прямого профиля, в зависимости от его высоты, — одну или несколько прокладок. При установке нескольких прокладок расстояние между ними должно быть 2—2,6 мм, общий объем прокладок не превышает 8—10 % от объема круга иначе будет снижаться его прочность. 4. Изготовление кругов переменного сечения с утолщением центральной части, плавно снижающейся к рабочей части (рис. 2.81, г).

Кроме того, для упрочнения кругов на их торцы наклеивают металлические диски (рис. 2.81, д), применяют круги без отверстия в центральной части с креплением их на специальной планшайбе (рис. 2.81, е), применяют специальные пружинящие фланцы, которые при креплении круга создают в нем растягивающие силы, разгружающие зону отверстия (рис. 2.81, ж), применяют сборные круги,

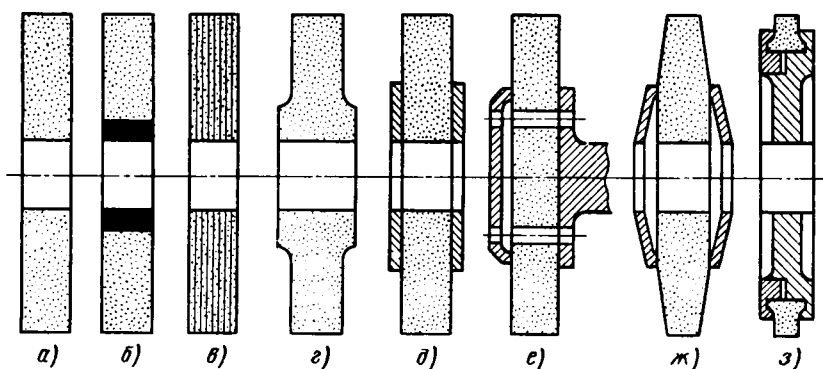


Рис. 2.81. Основные конструкции высокоскоростных шлифовальных кругов

состоящие из сегментов, закрепленных в планшайбе (рис. 2.81, з).

Основную опасность для круга представляют центробежные силы. Для предохранения круга от разрывов его испытывают перед работой при скорости, превышающей на 50 % рабочую скорость, с выдержкой при этой скорости в течение 5—10 мин в зависимости от диаметра испытываемого круга. Предел прочности при разрыве шлифовальных кругов различных характеристик на керамической связке от воздействия центробежных сил равен 5—25 МПа. Предел прочности у кругов на бакелитовой связке на 8—10 % выше.

Чем плотнее круги по структуре, тем выше их прочность, т. е. с увеличением расстояния между зернами прочность круга уменьшается. Опыты также показывают, что предел прочности кругов при разрыве падает с увеличением отношения диаметра отверстия к диаметру круга (d/D). Допустимая разрывная скорость круга v_p зависит от предела прочности на разрыв круга σ_b , Па. Разрывную скорость для кругов прямого профиля ПП, используемых при скоростных и силовых методах шлифования, определяют по формуле допустимых напряжений, возникающих во вращающемся диске:

$$\sigma_b = \gamma v_p^2 \frac{3+\mu}{4} \left(1 + \frac{1-\mu}{3+\mu} \frac{d^2}{D^2} \right), \quad (2.53)$$

где γ — плотность материала, кг/м³; v_p — разрывная скорость круга, м/с; μ — ко-

эффициент поперечного сжатия, для шлифовальных кругов различной характеристики $\mu=0,2\ldots 0,3$; d — диаметр посадочного отверстия круга; D — наружный диаметр круга (по данным инж. Г. М. Ипполитова).

По точности изготовления круги делят на три класса: АА, А и Б. Круги класса АА выпускают из зерна с повышенным содержанием основной фракции (П). Эти круги имеют наименьшую неуровненность и наименьшие отклонения от заданных размеров.

Эксплуатационные свойства кругов оценивают их стойкостью и качеством обработанной поверхности. При работе в условиях автоматизированного производства применяют круги классов АА и А. Перед работой круг проверяют на прочность и балансируют. Правку кругов производят автоматически алмазным правящим инструментом. В процессе работы, особенно при чистовой обработке, следует использовать круги из сверхтвердых материалов.

Шлифовальные круги, как любое тело вращения, обладают неуровненностью, т. е. несовпадением центра тяжести круга с его геометрическим центром. По ГОСТ 3060—86 предусмотрены четыре класса неуровненности. Наименьшая неуровненность соответствует классу 1, наибольшая — классу 4. В зависимости от класса точности кругов класс неуровненности должен быть: 1 — для кругов класса АА; 1 и 2 — для клас-

са А; 3 и 4 — для класса Б. Чем больше неуравновешенность, тем большие вибрации возникают при работе круга, при этом ухудшаются качество обработанной поверхности и точность шлифования.

Неуравновешенность массы в абразивных кругах в основном контролируют статическим способом. Приборы для статической балансировки показаны на рис. 2.82, а, б. У балансировочных валков основной частью являются два параллельно расположенных цилиндрических валика или ножа. Применяют также приборы с вращающимися дисками, которые дают лучшие результаты при балансировке. Закрепленный на балансировочной оправке круг устанавливают на прибор и придают ему медленное вращение, отмечают верхнюю, т. е. более легкую, точку его периферии и прикрепляют к ней зажим. Затем поворачивают круг на 90° и подбирают, крепя на зажим, уравнивающий груз. Если подобранная масса груза не превышает допустимую, то круг соответствует данному классу неуравновешенности. Для достижения допустимых значений неуравновешенности

на торце круга делают у отверстия секторную канавку, которую заливают свинцом, масса которого соответствует неуравновешенности, или делают в тело круга инъекцию специальной аэрозолью.

Шлифовальные станки часто оснащают приспособлениями для автоматической балансировки кругов. На рис. 2.82, в приведена схема одного из таких приспособлений. В планшайбе 2 шлифовального круга 1 расположены три шарика 3, которые при балансировке автоматически самоустанавливаются и устраняют дисбаланс.

Алмазные инструменты и инструменты из кубического нитрида бора. Применение алмазов и кубического нитрида бора (эльбора, кубонита) для изготовления абразивных инструментов позволяет повысить их стойкость в 5—10 раз и более по сравнению с инструментами из электрокорунда и карбида кремния, дает возможность эффективно обрабатывать высокотвердые и труднообрабатываемые материалы и повысить качество и точность обрабатываемых заготовок.

Алмазные и эльборовые круги состоят из корпуса и закрепленного на нем рабочего слоя. Исключение составляют круги прямого профиля малых диаметров: алмазные до 13 мм, эльборовые до 22 мм, которые состоят целиком из рабочего слоя.

Алмазные и эльборовые шлифовальные круги изготавливают с учетом рекомендаций по ГОСТ 24747—81, который регламентирует форму корпуса круга, форму сечения рабочего слоя, расположение рабочего слоя на корпусе.

Размеры алмазных кругов выбирают по ГОСТ 16167—80 — ГОСТ 16180—82, кругов из эльбора — по ГОСТ 17123—79Е. В табл. 2.5 приведены основные формы и размеры алмазных и эльборовых кругов. Корпуса кругов обычно изготавливают из алюминия АК6 или из стали (сталь Ст3, 35 или 45). Для кругов на органической связке применяют также корпуса из пластмассы и алюмобакелита (90 % алюминиевого порошка и 10 % пулвербакелита). У кругов на керамической связке корпуса делают керамические из нормального или белого электрокорунда, связка та же, что и у рабочего слоя. Рабочий слой у кругов состоит из алмазных или эльбо-

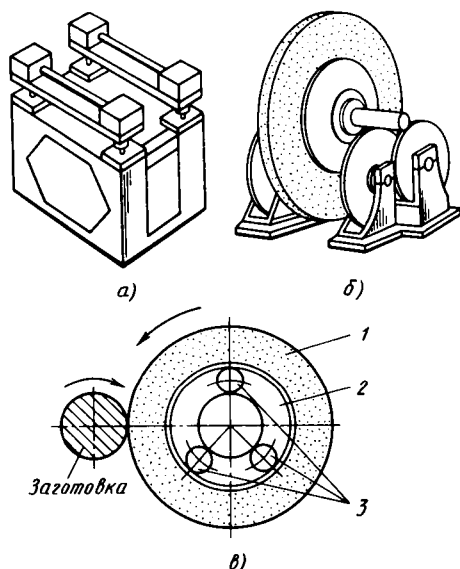
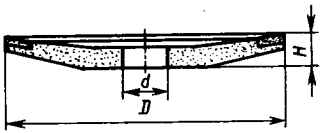
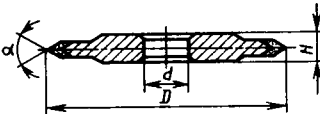
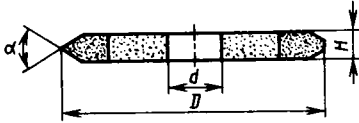
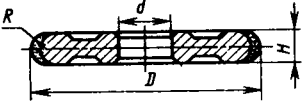
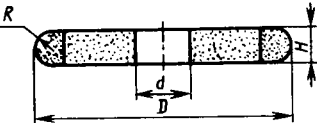


Рис. 2.82. Приборы для балансировки (а, б) и схема приспособления для автоматической балансировки (в)

2.5. Основные типы и размеры кругов из СТМ

Наименование и обозначение круга*	Форма круга	Размеры, мм
Шлифовальный плоский прямого профиля: алмазные 1А1 (АПП)		$D=16...500$ $H=2...100$ $d=6...203$
эльборовые 1А1 (ЛПП)		$D=25...500$ $H=4...50$ $d=6...305$
Шлифовальные плоские прямого профиля без корпуса: алмазные А8 (А1ПП)		$D=6...13$ $H=6...10$ $d=2...4$
эльборовые А8 (Л1ПП)		$D=1...22$ $H=1,6...25$ $d=0,5...8$
Алмазные шлифовальные плоские прямого профиля трехсторонние 14V1 (А2ПП)		$D=125...250$ $H=10...20$ $d=32...76$
Шлифовальные чашечные конические: алмазные 12А2=45° (АЧК)		$D=50...250$ $H=19,5...52$ $d=16...76$
эльборовые 11А2 (ЛЧК)		$D=75...150$ $H=35; 50$ $d=20; 32$
Шлифовальные чашечные конические: алмазные 12V5—45° (А2ЧК)		$D=50...150$ $H=20...40$ $d=16...51$
эльборовые 12V5—45° (Л2ЧК)		$D=125; 150$ $H=39; 41$ $d=32$
Шлифовальные тарельчатые: алмазные 12А2—20° (АТ)		$D=50...250$ $H=6...23$ $d=10...51$
эльборовые 12А2—20° (ЛТ)		$D=50...200$ $H=10...21,5$ $d=10...51$

Наименование и обозначение круга*	Форма круга	Размеры, мм
Шлифовальные тарельчатые эльборовые 12R9		$D=100; 125; 150$ $H=10; 13; 16$ $d=20...32$
Шлифовальные плоские с двусторонним коническим профилем: алмазные 14EEIX (A2П)		$D=25...400$ $H=3...10$ $d=6...203$ $α=30; 40; 60; 90; 120^{\circ}$
эльборовые 1D1 (Л2П-1)		$D=60...500$ $H=10...20$ $d=13...305$ $α=15; 30; 40; 60^{\circ}$
Шлифовальные плоские с полукругловыпуклым профилем: алмазные 1FFIX (A5П)		$D=50...150$ $H=2...32$ $d=16...51$ $R=1...16$
эльборовые 1FIX (Л1ФП)		$D=35...135$ $H=5...29$ $d=10...32$ $R=5...17$

* Обозначение дано по ГОСТ 24747—81, в скобках дано старое обозначение кругов.

ровых порошков, связки и наполнителя. Аналогичная конструкция и у кругов из кубонита.

Рабочий слой с корпусом соединяют у кругов на металлической связке в процессе горячего прессования непосредственно на корпус или на промежуточное кольцо, которое затем напрессовывают на корпус и дополнительно закрепляют на нем штифтами или винтами (рис. 2.83, а). У кругов на органической связке кольцо из рабочего слоя соединяют с корпусом из алюмо-бакелитового или карболитового порошка методом горячего прессования или наклеивания (рис. 2.83, б) с помощью клея ВК32-200 на металлический корпус. Галь-

ваническим способом крепят мелкозерновые круги, круги и правящие ролики сложной формы в тех случаях, когда изготовление инструмента не может быть осуществлено в пресс-формах. У кругов из эльбора на керамической связке соединение рабочего слоя и керамического корпуса происходит в процессе горячего прессования и спекания. Толщина рабочего слоя для большинства кругов находится в пределах 1,5—5 мм и только у кругов прямого профиля достигает до 20 мм.

Концентрацию (содержание) алмаза и кубического нитрида бора выражают в процентах. Круги изготавливают с 25, 50, 100, 150 и 200 %-ной концентрацией.

Концентрация определяет режущую способность абразивных инструментов, их производительность, срок службы и стоимость. За 100 %-ную концентрацию принимают содержание 0,88 г (4,4 кар) (1 кар = 0,2 г) режущих зерен в 1 см³ рабочего слоя. При этом объем режущих зерен составляет 25 % рабочего слоя. В настоящее время наиболее распространены круги со 100 %-ной концентрацией. Круги на органической связке для доводочных работ изготавливают также с 25—50 %-ной концентрацией. Круги на металлической и керамической связке для обработки фасонных деталей, резьбошлифования, зубошлифования изготавливают с 100, 150 и 200 %-ной концентрацией.

Маркировку алмазных и эльборовых кругов с наружным диаметром 60 мм и выше наносят на корпус. В ней указывают товарный знак предприятия-изготовителя, обозначение круга, зернистость порошка, его концентрацию в рабочем слое, марку связки, номер круга, номер стандарта и год изготовления. У кругов из эльбора на керамической связке дополнительно указывают твердость и структуру круга. У кругов диаметром 200 мм и выше, кроме указанного, маркируют размеры круга и рабочего слоя, допустимую рабочую скорость. На корпусах кругов с наружным диаметром до 60 мм маркируют только

номер круга и товарный знак завода-изготовителя. Полную маркировку этих кругов указывают на бирках из пресшпана.

Зерна синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов не имеют строгой формы. За размер зерна принимают полусумму длины и ширины прямоугольника, условно описанного вокруг проекции зерна. Зернистость алмазов обозначают дробным числом (ГОСТ 9206—80Е), у которого числитель соответствует большему, а знаменатель меньшему размеру зерен основной фракции, выраженному в микрометрах. Порошки выпускают двух диапазонов зернистостей — широкой и узкой.

По широкому диапазону алмазные порошки выпускают зернистостью: 400/250, 250/160, 160/100, 100/63, 63/40; по узкому: 400/315, 315/250, 250/200, 200/160, 160/125, 125/100, 100/80, 80/63, 63/50, 50/40. Микropорошки выпускают следующей зернистости: 50/40; 40/28; 28/20; 20/14; 14/10; 10/7; 7/5; 5/3; 3/2; 2/1; 1/1. Субмикropорошки зернистостью 1/0,5; 0,5/0,3; 0,3/0,1; 0,1/0. Зернистость эльбора обозначают подобно абразивным кругам: шлифзерно и шлифпорошки (Л120—Л14) в сотых долях миллиметра, микрошлифпорошки (ЛМ63—ЛМ5) и особотонкие микрошлифпорошки (ЛМЗ,

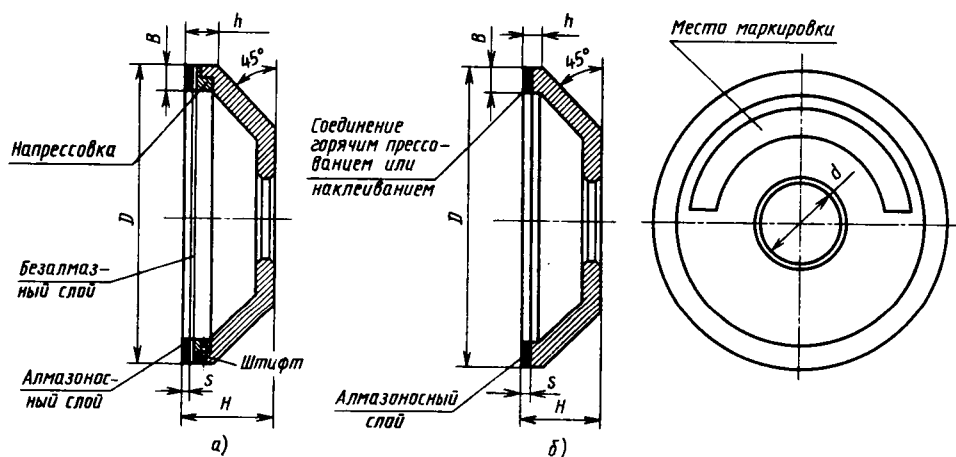


Рис. 2.83. Соединение рабочего слоя и корпуса:

а — напрессовкой и штифтами; б — горячим прессованием или склеиванием

ЛМ1) — в микрометрах. Зернистость кубонита обозначается так же, как зернистость алмазных кругов.

Зернистость алмазных инструментов выбирают в зависимости от требуемого качества обрабатываемой поверхности, согласно рекомендациям, приведенным в табл. 2.6 [56].

Для изготовления алмазных кругов и кругов из кубического нитрида бора применяют металлические, органические и керамические связки различных составов. Наиболее распространенными металлическими связками являются связки М1 (80 % меди и 20 % олова) и М013 — медноалюминиецинкового состава с наполнителем — карбидом бора. Большинство органических связок изготавливают на основе бакелита с добавлением различных наполнителей: Б1 — карбил бора, Б2 — железный порошок; Т02 — смесь карбида бора и медного порошка. Основными керамическими связками являются связки К1, состоящие из керамического шамота, алюминия и стекла с добавлением наполнителя карбида бора, и связки С10, рекомендуемой для кругов из эльбора.

Для инструмента из эльбора разработаны новые керамические связки: К18, состоящие из стекла с наполнителем ни-хром, и ОП9, в которую входят плавиковый шпат и оксиды некоторых металлов. Эти связки, по сравнению со связкой С10, повышают прочность сцепления с эльбором и снижают температуру обжига инструмента.

При выборе наполнителя (особенно абразивного) необходимо исходить из условия $\sigma'_{изг}/\sigma''_{изг} > 1$, где $\sigma'_{изг}$ — предел прочности на изгиб композиции эльбор+

+стеклосвязка; $\sigma''_{изг}$ — предел прочности на изгиб композиции наполнитель+стеклосвязка. Если это условие не выполняется, резко возрастает вероятность появления прижогов, так как зерна наполнителя прочнее удерживаются связкой, чем зерна эльбора.

Круги на металлической связке работают только с охлаждением, иначе они быстро засаливаются. Вследствие большой износостойкости их рекомендуют для обдирочного шлифования, отрезки и заточки с большими съемами. Круги на органической связке работают с охлаждением и без него; рекомендуют их для чистового и обдирочного шлифования, чистовой заточки и доводки режущих инструментов. Круги на керамической связке обеспечивают у твердосплавного инструмента одновременную заточку пластины из твердого сплава и державки, что нельзя осуществить кругами на металлической или органической связке.

Круги из эльбора на керамической связке изготавливают различной твердости от М2 до Т2 и структуры № 6—№ 12, что значительно расширяет область их применения. Количество зерен связки и пор в круге на керамической связке определяют так же, как и у абразивных кругов. Из рассчитанного объема зерна в рабочем слое 25 % (при 100 %-ной концентрации) составляет эльбор, остальное — абразивный порошок из электрокорунда или карбида кремния.

Система составления рецептов для производства инструментов из эльбора на керамической связке разработана эмпирическим путем. Процент содержания связки, а также увлажнителя (жидкого бакелита), добавляемого для повышения проч-

2.6. Выбор зернистости алмазных инструментов

Шероховатость обрабатываемой поверхности R_a , мкм	Зернистость круга со связкой		
	органической	металлической	керамической
0,63—1,25	200/160—125/100	160/125—125/100	160/125—125/100
0,32—0,63	160/125—100/80	125/100—80/63	125/100—80/63
0,16—0,32	100/80—50/40	80/63—50/40	80/63—50/40
0,08—0,16	50/40—40/28	—	63/50—40/28
0,04—0,08	40/28—14/10	—	—
0,04	14/10—5/3	—	—

ности заготовки, определяют в зависимости от массы эльбора и абразивного порошка, содержащегося в рабочем слое.

Хонинговальные головки. К конструкциям хонинговальных головок предъявляют следующие требования: обеспечение точности и формы обрабатываемого отверстия; возможность самоустановки головки в случае несовпадения осей отверстия и шпинделя; возможность самоустановки абразивных брусков для исправления формы обрабатываемого отверстия и компенсации неравномерности изнашивания брусков; возможность автоматического сжатия абразивных брусков при снятии рабочего движения; необходимость тонкого и удобного регулирования подачи абразивных брусков.

В хонинговальных головках должен быть предусмотрен механизм для регулирования раздвижения абразивных брусков. Регулирование может осуществляться вручную и автоматически гидравлическим (от общей гидравлической системы станка) или механическим способом. Наиболее эффективен гидравлический способ, который обеспечивает постоянное давление на бруски и большую производительность. Все эти механизмы раздвигают абразивные бруски с помощью конусов, которые упираются в колодки с закрепленными на них абразивными брусками. В практике встречаются головки с одним или двумя конусами. Хонинговальная головка с одним конусом показана на рис. 2.84, а. Державка 1 с брусками 2 прилегает к поверхности конуса 3 теоретически в одной точке А. Благодаря этому обеспечивается их самоустановка в отверстии и устраняется неравномерность изнашивания брусков. Для предохранения от выпадания из колодок бруски сжимаются по концам кольцевыми пружинами 4. При снятии со штока давления шток с конусами приподнимается под действием пружины 5, и бруски сжимаются. Давление пружины 5 регулируют гайкой 6. Головки с одним конусом имеют простую конструкцию, удобны в эксплуатации, но из-за неустойчивости положения брусков дают разбивку отверстия на входе и выходе (корсетность), что имеет место особенно при обработке коротких заго-

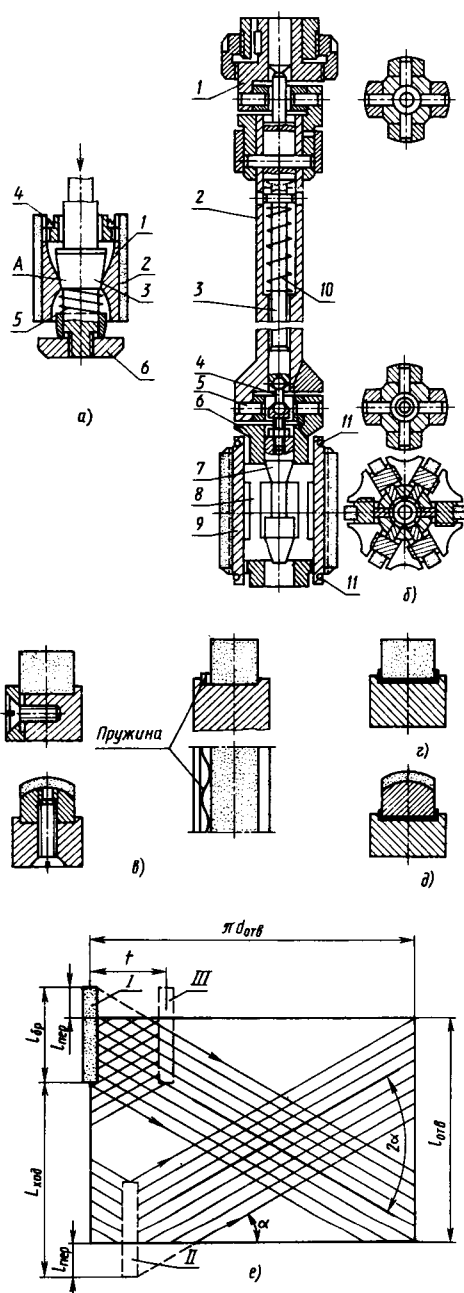


Рис. 2.84. Хонинговальные головки: а — с разжимом брусков одним конусом; б — с разжимом брусков двумя конусами; в—д — способы крепления хонинговальных брусков в колодках; е — поверхность, полученная в процессе хонингования

товок. При этом широко применяют головки с разжимом колодок с брусками двумя конусами, которые обеспечивают точную форму обрабатываемых отверстий.

Конструкция хонинговальной головки с разжимом колодок с брусками двумя конусами, направленными в одну сторону, представлена на рис. 2.84, б. Привод механизма разжима 1 встроен в шпиндельную бабку станка и соединен со стержнем 2. Поступательное движение от привода передается толкателю 3 и через шарнирный поводок 4, 5 на корпус 6, внутри которого перемещается разжимной конус 7. Последний передает давление на конусные планки 8 и разжимает колодки 9 с брусками. При снятии рабочего давления пружина 10 приподнимает толкатель, и колодки с брусками сжимаются под действием кольцевых пружин 11.

В зависимости от расположения брусков хонинговальные головки бывают одноярусные и многоярусные с расположением брусков в несколько рядов по длине головки. Их применяют при обработке отверстий длиной свыше $(5-10)d$ или отверстий с прерывистым расположением обрабатываемых поверхностей.

Для оснащения головок применяют абразивные бруски по ГОСТ 2456—82, а также алмазные бруски и бруски из эльбора. Число брусков в одном ярусе в зависимости от диаметра колеблется от 3 до 36, обычно число брусков выбирают кратное трем. Для обеспечения необходимой жесткости корпуса головки между брусками оставляют тело головки размером $0,75-0,65$ их окружного шага. Рабочая ширина всех брусков составляет $0,25-0,35$ длины окружности обрабатываемого отверстия, поэтому число брусков $z = (0,25 \dots 0,35)\pi d / B$, где d — диаметр обрабатываемого отверстия; B — ширина бруска.

Длину брусков у одноярусных головок выбирают в зависимости от длины L обрабатываемого отверстия. Лучшие результаты по точности геометрической формы получают при длине брусков $l_6 = (0,5 \dots 0,75)L$. Перебег брусков при работе равен $(0,25 \dots 0,35)l_6$, у многоярусных головок перебег брусков не менее $0,5l_6$ [53].

Хонинговальные бруски в колодках крепят механическим путем, приклеивают или припаивают. Крепление механическим способом (рис. 2.84, в) производят винтами или гофрированными пружинами, его применяют у головок крупных размеров. Приклеивание (рис. 2.84, г) применяют при креплении абразивных брусков, а также алмазных и эльборовых брусков на органической и керамической связках. Для приклеивания применяют шеллак, целлюлоид, силикатные или бакелитовые клеи, эпоксидную смолу и др. Припаивание (рис. 2.84, д) применяют для крепления алмазных брусков на металлической связке. Для припаивания обычно применяют оловянистые припои ПОС-30 или ПОС-40.

Характеристику абразивных брусков выбирают в зависимости от материала заготовки, припуска под хонингование, требуемой шероховатости поверхности и точности обработки. Для хонингования стальных деталей применяют бруски из электрокорунда белого 24А или карбида кремния зеленого 63С, при обработке чугуна — из карбида кремния зеленого 63С связка брусков — керамическая или бакелитовая. Зернистость брусков для предварительного хонингования 10—6, твердость СМ1—М1, для окончательного — зернистость 5—М14, твердость С2—СТ2. Несмотря на высокую производительность хонингования применение его в ряде случаев сдерживается низкой стойкостью брусков. Для повышения стойкости применяют алмазные и эльборовые бруски.

При обработке заготовок из серого чугуна и термообработанной стали рекомендуются бруски из синтетических алмазов АС4; АС6 и из эльбора ЛО, ЛП. Зернистость алмазных брусков для предварительной обработки 250/200—125/100, для окончательной обработки 100/80—50/40 и микропорошки 40/20—20/14. Зернистость эльборовых брусков для предварительной обработки 25—12, для окончательной 10—4 и микропорошки 40—14. Концентрация: для предварительной обработки 100 %-ная и реже 50 %-ная, для окончательной — 100—200 %-ная. Алмазные бруски изготавливают на металлических М1, М013, металлосиликатовых

МС6, МС15 и органических Б1, Т02 связках. Эльборовые бруски изготавливают на керамической С10 и органической Б1 связках. Применяют эльборовые бруски на керамической связке твердостью СТ, Т и структуры 5—8.

Указанные связки являются наиболее распространенными, кроме них применяют и другие марки связок.

В процессе работы хонинговальная головка имеет вращательные и поступательные движения, причем отверстия обрабатывают как при прямом, так и при обратном ходе. Для обеспечения высокого качества обработанной поверхности необходимо, чтобы получаемые в процессе обработки штрихи пересекались под углом $2\alpha=40\ldots60^\circ$ (рис. 2.84, *е*), тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = v_{\text{ок}}/v_{\text{вп}}, \quad (2.54)$$

где $v_{\text{ок}}$ — скорость вращательного движения; $v_{\text{вп}}$ — скорость поступательного движения.

Для предварительной обработки рекомендуются следующие значения скоростей:

Материал заготовки	$V_{\text{ок}}, \text{ м/мин}$	$v_{\text{вп}}, \text{ м/мин}$
Чугун	60—75	15—20
Сталь нетермообработанная	45—60	10—12
Сталь термообработанная	18—28	5—10

Для окончательной обработки скорости снижаются до 1,5 раз.

Развертка сетки следов обработки на поверхности хонингуемого отверстия приведена на рис. 2.84, *е*. Цифрами I, II, III обозначены последовательные положения бруска за один двойной ход головки. Для повышения качества обработанной поверхности число оборотов хонинговальной головки не должно быть кратно числу ее двойных ходов. При этом режущие зерна брусков при возвратно-поступательном движении не повторяют путь предыдущего хода, а смещаются на некоторую величину l , что улучшает качество обработанной поверхности. Изменение направления движения брусков в процессе каждого двойного хода улучшает процесс самозатачивания и восстановления режущей способности брусков. Перемещение хонинговальной головки за каждый ход $l_{\text{ход}} = l_{\text{отв}} + 2l_{\text{пер}} - l_{\text{бр}}$, где $l_{\text{пер}}$ — перебег;

$l_{\text{бр}}$ — длина хонинговального бруска; $l_{\text{отв}}$ — длина отверстия.

В процессе хонингования в резании участвует в 100—1000 раз больше абразивных зерен, чем при шлифовании, что обеспечивает высокую производительность процесса.

Для удаления из зоны резания продуктов изнашивания брусков и микрочастиц снимаемого слоя металла и охлаждения обрабатываемой заготовки процесс хонингования происходит при обильном применении СОЖ. В зависимости от условий обработки применяют водные растворы, составы на основе минеральных масел и на основе керосина.

Сравнительно небольшие скорости резания и применение обильного охлаждения приводят к тому, что деталь при алмазном хонинговании нагревается не выше 30—50 °С, а при абразивном — в 2—2,5 раза больше, такой нагрев не влияет на структуру поверхности обрабатываемой детали.

Припуск при окончательном хонинговании для чугуна находится в пределах 0,02—0,20 мм, для стали — 0,01—0,07 мм. За один двойной ход головки снимается слой 0,3—0,5 мкм. Для предварительного хонингования чугунных и стальных деталей рекомендуется давление 0,4—1,2 МПа, для чистовой обработки 0,2—0,6 МПа.

Абразивные инструменты на гибкой основе. К абразивным инструментам на гибкой основе относятся шлифовальная шкурка, изделия из нее и шлифовальные фибровые диски. Шлифовальная шкурка, как правило, имеет один слой абразивных зерен, закрепленных на гибкой основе (рис. 2.85, *а*). Ее применяют для всевозможных ручных и машинных зачистных и полировальных работ в процессе сборки и отделки заготовок деталей различных механизмов и машин при обработке труднодоступных мест, узких пазов и т. п. у заготовок из различных металлов, дерева, резины, кожи, стекла, мрамора и других материалов.

Для изготовления шлифовальной шкурки наиболее широко применяют электрокорунд, карбид кремния, стекло, кремень. Шкурку с режущими зернами из стекла и кремния используют при обработке дерева, резины, кожи и других неметалличес-

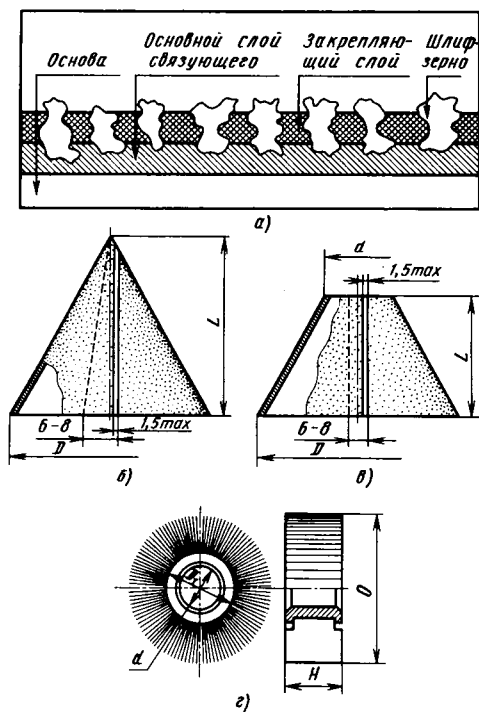


Рис. 2.85. Шлифовальная шкурка и изделия из нее:

a — конструкция шлифовальной шкурки; *б* — конус; *в* — усеченный конус; *г* — лепестковый круг без оправки типа КЛ

ких материалов. Шкурку выпускают из шлифпорошков зернистостью 125—3 и из микропорошков М63—М5 на бумажной и тканевой основе. В зависимости от условий работы шкурки (с охлаждением или без охлаждения) для ее изготовления применяют водостойкую и неводостойкую бумагу, а также саржу, миткаль, плащевую ткань, шифон. Шкурка на тканевой основе значительно прочнее, но стоит она в 15 раз дороже, чем на бумажной.

В зависимости от назначения шкурки применяют различные связующие для удержания абразивных зерен на гибкой основе. Для неводостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе применяют мездровый или казеиновый клей и в отдельных случаях смолу; для водостойкой шкурки — синтетические смолы, лаки и их комбинации. Для шкурки на тканевой основе применяют различные синтети-

ческие смолы. Шкурки выпускают в рулонах шириной от 725 до 1250 мм и длиной 20—100 м и листах 210×180—800×800 мм.

Изделиями из шлифовальной шкурки являются: бесконечные (склеенные) шлифовальные ленты, ленты-боины (несклеенная полоса шлифовальной шкурки определенной ширины и длины), кольца, диски, а также конуса (рис. 2.85, б, в) и лепестковые круги, собранные из отдельных полос шлифовальной шкурки определенного размера, вклеенных в корпус (рис. 2.85, г) [16].

Для обработки высокопрочных материалов и материалов высокой твердости применяют алмазные или эльборовые шлифовальные шкурки и ленты. Для алмазных шкурок и лент применяют алмазы зернистостью 3/2—100/80, для эльборовых — эльбор зернистостью ЛМЗ—Л110. Их делают на тканевой основе. Для алмазных шкурок и лент применяют капрон, для эльборовых — шифон. В виде связующих применяют лак и смолу.

Шлифовальные фибровые диски представляют собой эластичную фибровую основу толщиной 0,7—1 мм, наружным диаметром 150—225 мм с закрепленным на одной стороне ее абразивным зерном; они служат для зачистки сложных криволинейных поверхностей после отливки, штамповки, сварки и др.

Для доводочных работ, полирования и притирки применяют различные абразивные пасты на основе электрокорунда, карбида кремния, карбида бора, глинозема, окиси хрома, крокуса, мела, доломита и др., а также алмазные и эльборовые пасты. Зернистость абразивных материалов для изготовления паст 6—М3. Основной связующего является парафин, стеарин, олеиновая кислота.

В зависимости от характера выполняемых работ при работе пастами применяют притиры из следующих материалов: чугуна, стали, бронзы, свинца, стекла, дерева, фибры, кожи и других материалов. Твердость материала притира должна быть ниже, чем у обрабатываемой заготовки, для того чтобы абразивный материал шарнировался в притир, а не в заготовку.

Правка круга и инструмент для нее. В процессе шлифования абразивный инструмент может самозатачиваться при частичном разрушении или полном выкрашивании затупившихся режущих зерен, соединенных связкой. При большой нагрузке на режущие зерна и применении мягких кругов процесс обычно протекает с интенсивным самозатачиванием рабочей поверхности круга. При чистовых операциях, проводящихся при меньшей глубине шлифования, нагрузка на зерна уменьшается и происходит постепенное затупление абразивных зерен на рабочей поверхности круга. При интенсивном самозатачивании из-за неравномерной нагрузки на зерна и неравномерного изнашивания круг приобретает неправильную геометрическую форму. При работе таким кругом ухудшается качество обрабатываемой поверхности, появляются вибрация и дробление.

При затуплении круга увеличивается скругление режущих граней абразивных зерен, на которые налипают частицы шлифуемого материала, поры круга заполняются мельчайшими частицами металла и связки, все это вызывает увеличение в зоне резания давления на заготовку, появление прижогов и огранки.

Для восстановления режущей способности абразивного инструмента и придания ему необходимой геометрической фор-

мы производят правку. На правку расходуют от 45 до 80 % полезного объема шлифовального круга. Затраты времени на правку достигают 40 % и более штучного времени обработки. В настоящее время для правки применяют алмазные и безалмазные инструменты и осуществляют ее методами, указанными на рис. 2.86.

Правка алмазным инструментом, имеющим большую стойкость по сравнению с безалмазным, обеспечивает лучший микрорельеф и остроту режущих зерен на заправляемой поверхности и повышает точность ее геометрической формы.

Правка шлифовальных кругов производится: обтачиванием алмазом в оправе или алмазным карандашом (рис. 2.86, а); обкатыванием абразивным кругом (рис. 2.86, б), шлифованием кругами из карбида кремния со скоростью правящего круга $v_n = 0,5 \dots 1$ м/с или алмазным роликом со скоростью ролика 10...12 м/с (рис. 2.86, в), тангенциальным точением алмазным бруском со скоростью продольной подачи 8—11 м/мин (рис. 2.86, г). Скорость заправляемого круга во всех случаях равна рабочей скорости круга. Шлифовальные круги правят также накатыванием стальными или твердосплавными роликами при скорости 1,0—1,5 м/с.

Правка алмазным инструментом обеспечивает повышение стойкости круга в 1,5—1,6 раза по сравнению с правкой без-

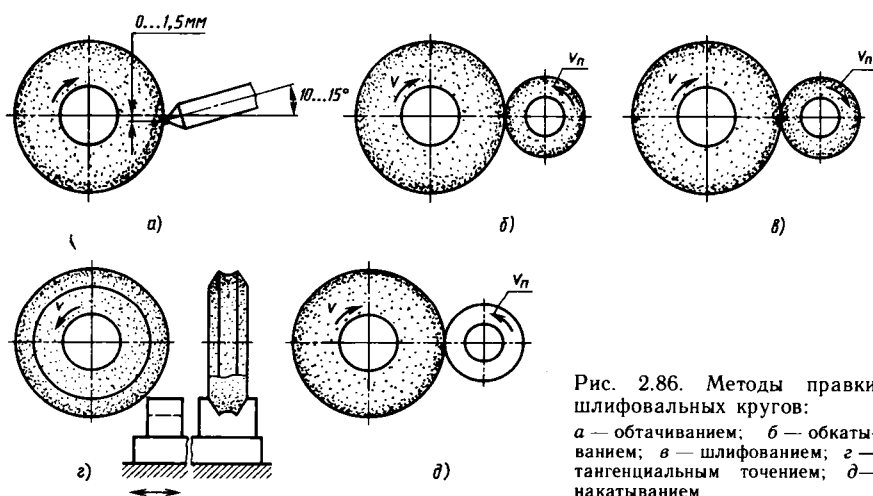


Рис. 2.86. Методы правки шлифовальных кругов:
а — обтачиванием; б — обкатыванием; в — шлифованием; г — тангенциальным точением; д — накатыванием

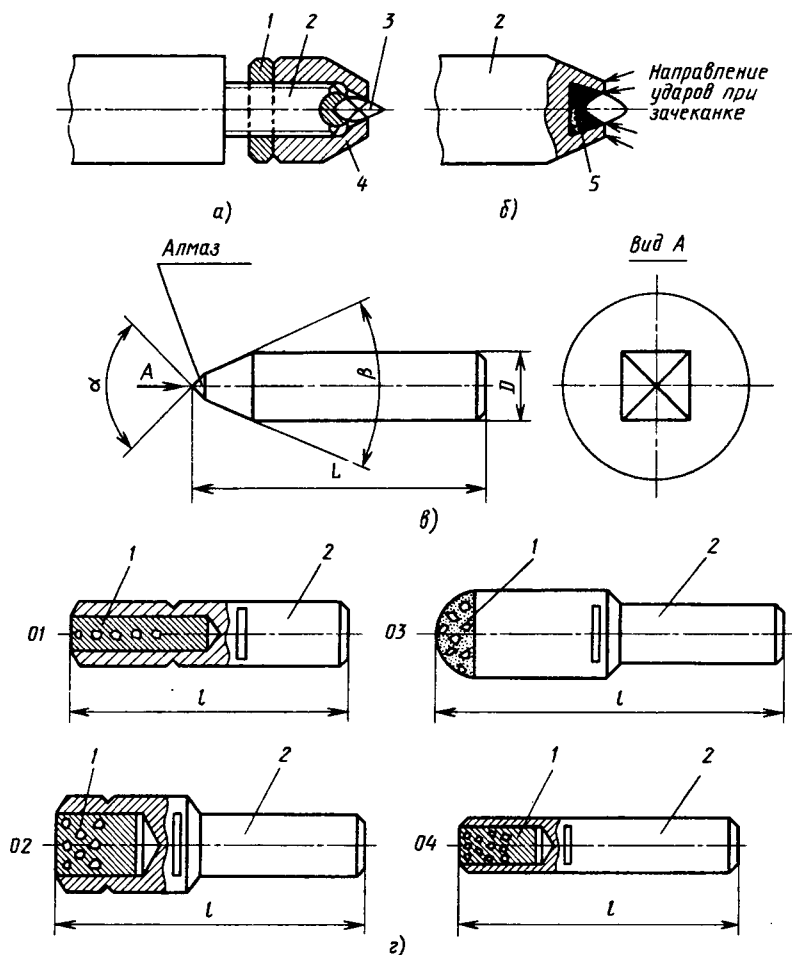


Рис. 2.87. Инструменты для правки шлифовальных кругов методом обтачивания:
 а—б — алмаз в оправе, крепление соответственно колпачком и зачеканкой; в — алмазная игла, крепление алмаза зачеканкой или пайкой; г — алмазные карандаши с расположением алмазов цепочкой (01), слоями (02), на сферической поверхности (03), с неориентированными алмазами (04)

алмазными правящими инструментами. Учитывая, что алмазный инструмент значительно дороже безалмазного, его следует применять для окончательной правки; предварительную правку, особенно при снятии больших слоев абразива, следует производить безалмазным инструментом.

Правку методами обтачивания производят необработанными алмазами массой 0,2—1 кар 3, закрепленными механическим способом с помощью колпачка 4 и контргайки 1 зачеканкой или пайкой на оправке 2 (рис. 2.87, а). Кроме меха-

нического крепления, крепление алмаза в оправке может производиться зачеканкой в медном вкладыше 5, установленном на оправке 2, или пайкой (рис. 2.87, б). Для правки односточных резбошлифовальных кругов и правки фасонных профилей по копиру применяют алмазные иглы (рис. 2.87, в), оснащенные спрофилированными алмазами размером 0,1—0,25 кар. Алмазные иглы имеют угол у вершины α , равный 60° или 90° . Оправку обычно делают с углом $\beta = \alpha - 10^\circ$, т. е. с углом 50° или 80° .

При правке obtachиванием широко применяют алмазно-металлические карандаши, у которых в определенном порядке размещены кристаллы алмазов, скрепленные специальным сплавом, имеющим коэффициент теплового расширения примерно равный коэффициенту теплового расширения алмаза. В зависимости от расположения алмазных зерен (рис. 2.87, *г*) во вставке 1, закрепленной в корпусе 2, алмазные карандаши бывают четырех типов: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4. Каждый тип карандашей разделяют по номерам в зависимости от размеров алмазов. Для изготовления алмазных карандашей применяют алмазы массой от 0,5 до 0,01 кар. Наиболее крупные алмазы используют для изготовления карандашей типа 01, наименьшие — для карандашей типа 04.

Для улучшения качества правки, уменьшения изнашивания и опасности подхвата правящего инструмента кругом алмазы в оправе и алмазные карандаши при правке устанавливают под углом $10\text{--}15^\circ$ к оси круга в сторону его вращения, а иногда на $1\text{--}1,5$ мм ниже оси круга. Правку производят при рабочей скорости шлифовального круга и продольной подаче $1,0\text{--}0,2$ мм/мин и поперечной подаче $0,03\text{--}0,005$ мм/дв. ход.

Правку методом обкатывания (рис. 2.88) производят кругами из карбида кремния черного 54С зернистостью 80, твердостью ВТ—ЧТ на керамической связке, твердосплавными монокристаллическими роликами (рис. 2.88, а), крупнозернистыми твердосплавными роликами на металлической связке (рис. 2.88, б), стальными дисками с кольцевыми канавками (рис. 2.88, в), тупозубыми (рис. 2.88, г) и острозубыми (рис. 2.88, д) звездочками и рифлеными дисками (рис. 2.88, е). Для интенсификации процесса правки кругами из карбида кремния ось правящего инструмента устанавливают под углом 8—10° относительно оси шлифовального круга. Остальными инструментами круги правят при параллельном расположении осей.

Правящий инструмент крепят в специальных державках, устанавливаемых на столе станка. Звездочки и рифленные диски устанавливают в державках комплектами,

по несколько штук, и применяют для предварительной правки. Диски с кольцевыми канавками применяют для правки при чистовом и обдирочном шлифовании, они обеспечивают параметр шероховатости шлифуемой поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм. Стальные диски, звездочки и шарики изготавливают из стали 10, 20, 30 (ГОСТ 1050—74) с последующей цементацией на глубину 0,3—0,5 мм и термообработывают до твердости 57—61 HRC₃.

Правку производят при продольной подаче 0,5—1,5 м/мин и поперечной подаче 0,05—0,01 мм/ход, меньшие значения подачи применяют для мелкозернистых кругов. Правку методом шлифования производят кругами формы ПП из карбида кремния на керамической связке зернистостью 160—50, твердостью Т-ЧТ, диаметром 60—150 мм алмазными или стальными роликами. Алмазные ролики делят на два вида: алмазные ролики на твердосплавной связке, изготавливаемые мето-

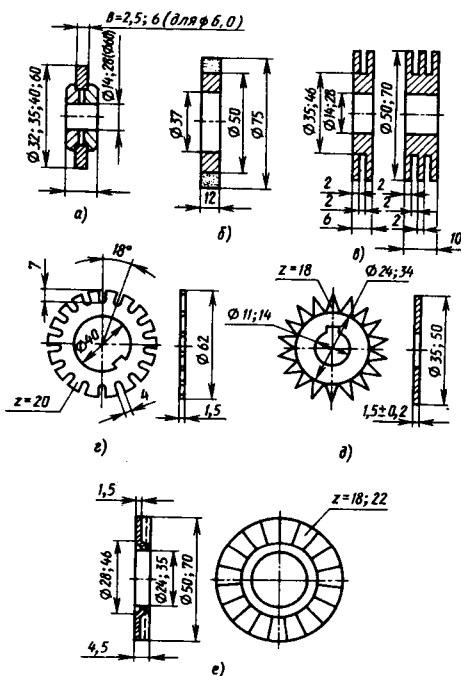


Рис. 2.88. Безалмазные инструменты для прав-
ки методом обкатывания

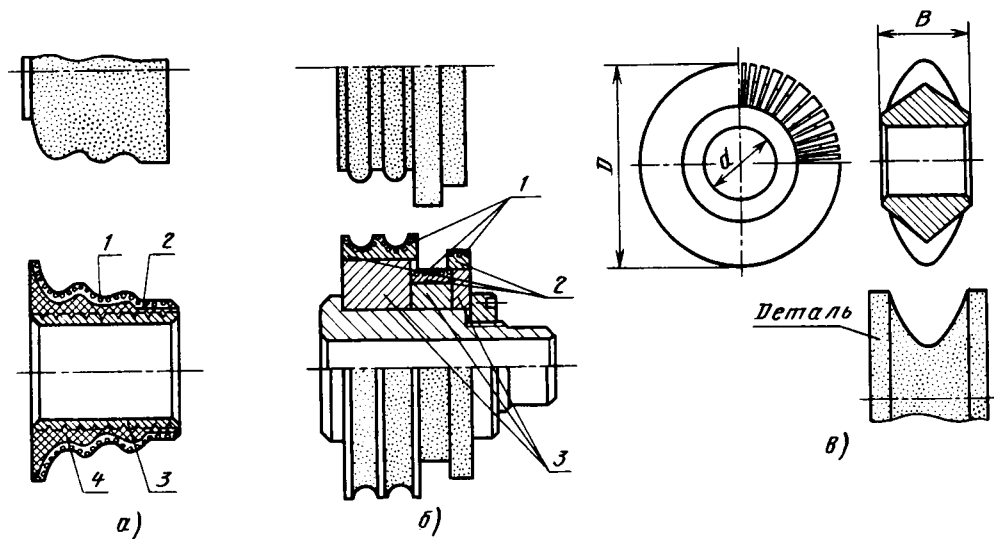


Рис. 2.89. Ролики для правки абразивных кругов:

а—составной, изготовленный методом порошковой металлургии; *б*—алмазный, изготовленный гальваническим способом; *в*—металлический накатной

дом порошковой металлургии, и алмазные ролики, изготавливаемые гальванически; первые значительно дороже, но стойкость их в 5—10 раз больше вторых.

Ролики первого вида (рис. 2.89, *б*) состоят из корпуса 3, изготовленного из стали 35 или 45, и алмазосносного слоя, прочно соединенного с корпусом. Алмазосносный слой состоит из алмазов 1 и связки 2, состоящей из твердосплавного порошка, пропитанного расплавленным металлом, чаще латунью. Для оснащения роликов используют природные алмазы, имеющие форму октаэдра, зернистостью 90—150 шт. на один карат, располагаемые равномерно на рабочей поверхности ролика в шахматном порядке.

Ролики, изготавливаемые гальваническим способом (рис. 2.89, *а*), оснащают как природными, так и синтетическими алмазами 1 зернистостью 100/80—500/400. Ролики состоят из слоя гальванического металла 2, корпуса 3 и соединительного слоя 4, состоящего из эпоксидной смолы с наполнителем. Для закрепления алмазов 1 чаще всего используют никель.

Правку прямолинейных поверхностей производят роликами цилиндрической

формы диаметром 70 мм и высотой 10 и 20 мм. Для правки кругов с фасонным профилем применяют ролики, имеющие профиль детали.

На рис. 2.89, *б* показан комплект роликов прямого и фасонного профиля, изготовленных методом порошковой металлургии. В зависимости от формы профиля ролики изготавливают диаметром 70—200 мм и высотой до 100—120 мм; ролики с большой высотой делают обычно составными. Применение фасонных роликов сокращает время правки и позволяет увеличить производительность и повысить точность шлифования, их используют в массовом или крупносерийном производстве [38].

Кругами из карбида кремния правят при скорости вращения инструмента 0,5—1,0 м/с, продольной подачи 1,0—1,5 мм/мин и поперечной подачи 0,03—0,05 мм/дв. ход. Алмазными роликами правят при скорости вращения 10—20 м/с, продольной подаче 0,3—1,0 мм/мин и поперечной 0,01—0,03 мм/дв. ход. При правке фасонных профилей поперечная подача 0,5—1,0 мм/мин.

По сравнению с кругами из карбида кремния зеленого алмазные ролики при

правке методом шлифования обеспечивают высокое качество поверхности шлифовальных кругов, что приводит к более рациональному их использованию.

Правка методом тангенциального точения аналогична процессу обтачивания и осуществляется алмазным бруском на плоскошлифовальном станке. Брусок имеет профиль, соответствующий профилю детали, его закрепляют на столе станка (см. рис. 2.87, з). Шлифовальный круг в процессе работы соприкасается с бруском и заправляется.

Метод накатывания применяют для правки кругов с фасонным профилем, в том числе для многоиточного резьбошлифования и правки червячных абразивов. Ее осуществляют стальными или твердосплавными роликами (рис. 2.89, в), имеющими профиль, соответствующий профилю детали при скорости $1\text{--}1,5\text{ м/с}$ с поперечной подачей $0,05\text{--}0,06\text{ м/мин}$. Ролики для накатывания изготавливают из стали 45, 40Х и закалывают до $31\text{--}33\text{ HRC}$, и из стали У8А, У10А, ХГ, Р6М5, закаленной до $61\text{--}66\text{ HRC}$. Профилирование роликами из стали 45, 40Х более эффективно для операций предварительного шлифования, так как обеспечивает более интенсивный процесс накатывания. Ролики из инструментальных и быстрорежущих сталей и твердого сплава обеспечивают более высокую точность профилирования, и их рекомендуют для окончательного шлифования.

Диаметр ролика выбирают в зависимости от диаметра круга: $d_{\text{рол}} = (0,2\text{...}0,25)D_{\text{кр}}$.

Для ускорения процесса правки, повышения ее качества и отвода шлама на роликах делают канавки с неравномерным шагом.

Независимо от метода правки для восстановления режущих свойств и правильной геометрической формы круга зернистостью 40 достаточно снять слой $0,05\text{--}0,07\text{ мм}$; для круга зернистостью 16 — слой $0,03\text{--}0,04\text{ мм}$. Удаление слоя большей толщины не улучшит условия шлифования, а только увеличит расход круга на правку и время правки.

Алмазные круги правят методом обкатывания или шлифования абразивными кругами, а также электрохимическими,

электроэрозионными и электроконтактными способами. Наиболее универсальным и распространенным способом является правка абразивными кругами.

Для правки кругов на металлической и органической связках применяют круги из карбида кремния зеленого; для правки кругов на органической связке применяют также круги из электрокорунда белого. Зернистость кругов 25—40, твердость СМ2—С2, связка — керамическая.

Правку методом обкатывания производят при продольной подаче $0,8\text{--}1,2\text{ м/мин}$ и поперечной подаче $0,02\text{ мм}$ на шесть—восемь двойных ходов. Для повышения производительности правки ось правящего круга наклоняют к оси заправляемого алмазного круга под углом $3\text{--}5^\circ$. Алмазные круги методом шлифования абразивным кругом правят при продольной подаче $1,5\text{--}2,0\text{ м/мин}$ и поперечной подаче $0,03\text{--}0,04\text{ мм/дв. ход}$. Скорость алмазного круга при правке $0,3\text{--}1,0\text{ м/с}$, скорость правящего круга $20\text{--}25\text{ м/с}$. Направление вращения алмазного и правящего кругов встречное.

Круги из эльбора и кубонита правят методами обкатывания и шлифования подобно правке алмазных кругов и алмазными карандашами типа 04 зернистостью 50/40—40/28. Круги для профильного шлифования правят алмазами в опаве или алмазными роликами.

Крепление шлифовальных кругов на шпинделе станка и основные требования техники безопасности. Крепление шлифовальных кругов на шпинделе станка должно быть надежным и не создавать в круге внутренних напряжений. Для равномерного зажима между фланцами и кругом устанавливают прокладки-кольца толщиной $0,5\text{--}3,00\text{ мм}$ из кожи, войлока, резины или картона. Для избежания напряжений в зоне отверстия и порчи посадочной поверхности шпинделя станка или посадочного места крепежного приспособления круги надеваются на них с зазором, который в зависимости от размера круга равен $0,1\text{--}0,8\text{ мм}$. На рис. 2.90, а—д приведены способы крепления кругов, на рис. 2.90, е — конструкция планшайбы для крепления сегментных кругов. Сег-

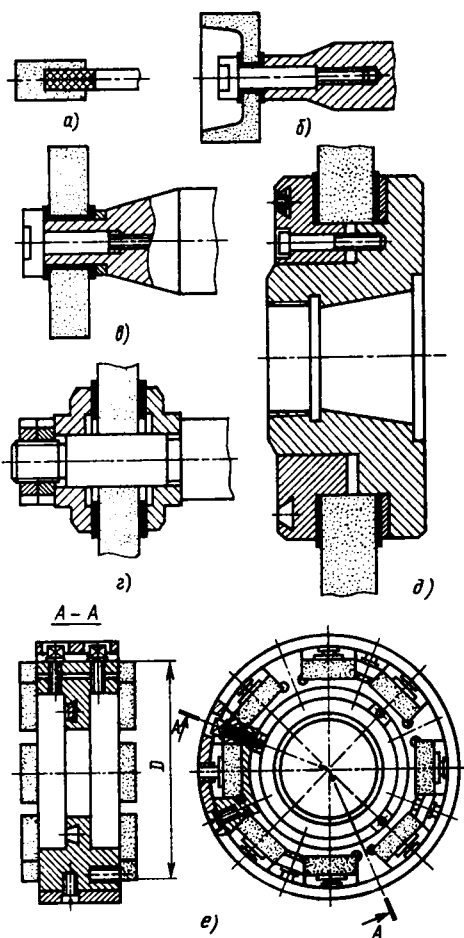


Рис. 2.90. Способы крепления кругов:
а — на шпильке наклеиванием; б — винтом; в, г — на шпинделе соответственно винтом и фланцами; д — переходным фланцем; е — сегментных кругов на планшайбе

ментные круги применяют на плоскошлифовальных станках при работе торцом круга.

Крепление алмазных кругов и кругов из кубического нитрида бора на керамической связке аналогично рассмотренному. Круги с металлическим корпусом крепят с посадкой на шпинделе $H7/h6$. Прокладок при их креплении обычно не применяют.

Шлифовальные круги работают при высоких скоростях, и в процессе работы возможны их разрывы, поэтому необходимо соблюдать правила техники безопасности по ГОСТ 12.3.028—82.

Перед началом работы до установки на станок круг должен быть проверен на отсутствие трещин, выбоин и других дефектов, а также испытан на прочность на специальном стенде при скорости в 1,3—1,5 раза выше рабочей. Круг на станок надо устанавливать, соблюдая следующие требования: после сборки круга с фланцами или планшайбой необходимо его отбалансировать в специальном приспособлении или непосредственно на станке с помощью имеющихся на фланцах или планшайбе балансировочных сухарей, которые перемещаются по круговому пазу. На станках, работающих шлифовальными кругами, должен быть установлен защитный кожух (рис. 2.91). При установке кожуха зазор между периферией круга и передней кромкой кожуха должен быть не более 6 мм. Шлифовальные станки должны быть снабжены вентиляционными устройствами и ограждениями.

Круг должен работать со скоростью, не превышающей предельную скорость, указанную на круге, и подачами, не превышающими допустимые. После установки нового круга на станок необходимо его испытать при работе вхолостую.

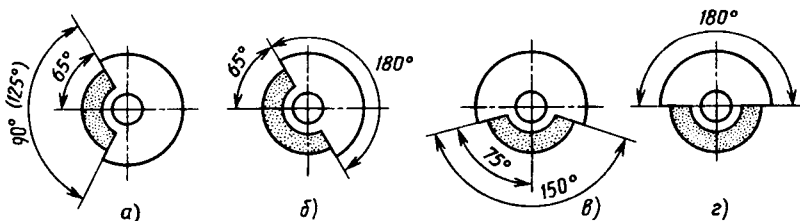


Рис. 2.91. Схема установки защитного кожуха на станках:
а — обдирочных (90°) и заточных (125°); б — кругло- и бесцентровшлифовальных; в — плоскошлифовальных, работающих периферией круга; г — переносных с гибким валом

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выбрать сечение резца для заданных условий обработки?
2. Перечислите устройства для ломания стружки при обработке заготовок из вязких материалов резцами из твердых сплавов.
3. Перечислите преимущества резцов, оснащенных многогранными пластинами, по сравнению с резцами с напаянными пластинами из твердого сплава.
4. Перечислите схемы крепления многогранных пластин на корпусе резца и области их применения.
5. Почему корпуса строгальных резцов делают изогнутыми?
6. В каких случаях применяют резцы с режущими элементами из композита; укажите режимы резания.
7. От каких параметров обрабатываемой заготовки и режима резания зависит диаметр круглых фасонных резцов.
8. Для чего производят коррекционный расчет фасонных резцов.
9. Как определить значения переднего и заднего углов в сечении, перпендикулярном к проекции режущей кромки на основную плоскость для точек, расположенных на криволинейных участках профиля фасонных резцов.
10. Как улучшить геометрические параметры для участков профиля фасонных резцов, перпендикулярных к оси изделия.
11. Укажите принцип работы протяжек, их конструктивные элементы и их назначение.
12. Как определить силу резания и напряжения в опасных сечениях у основных видов протяжек?
13. Укажите преимущества и недостатки круглой протяжки с групповой схемой резания по сравнению с протяжкой с одинарной схемой резания.
14. Предложите конструкцию протяжки для обработки круглого отверстия большой длины ($l > 6d$), рассмотрите условия ее работы.
15. Какое отличие в определении диаметра калибрующих зубьев протяжки для обработки отверстий в заготовке из стали в виде трубы с большой и малой толщиной стенки?
16. Обоснованно выберите схему резания протяжки для обработки шлицевого отверстия с центрированием по внутреннему диаметру.
17. Как уменьшить напряжение на разрыв в теле протяжки для обработки отверстия диаметром 10 мм и длиной $L = 30$ мм?
18. Укажите пути экономии инструментальной стали при проектировании протяжек для круглых отверстий.
19. Предложите конструкцию круглой протяжки для обработки круглого отверстия длиной l и $3l$.
20. Укажите методы крепления и регулирования секций наружной протяжки для обработки детали сложной формы.

21. От каких параметров условий обработки зависит диаметр цилиндрических фрез.
22. Как выбрать число зубьев у дисковых фрез?
23. Как обеспечить условия равномерности фрезерования для цилиндрической фрезы?
24. Перечислите формы зубьев цельных фрез и область их применения.
25. Приведите расчетные параметры, необходимые при проектировании сборных торцовых фрез.
26. Перечислите преимущества сборных конструкций фрез по сравнению с цельными.
27. В каких случаях применяют затылованные фрезы?
28. Когда применяют угловое затылование фрез?
29. Как определить величину нормального заднего угла для точки, расположенной на криволинейном участке затылованной фрезы.
30. От каких параметров конструкции затылованной фрезы зависит величина ее затылования?
31. Укажите основные виды обрабатываемых отверстий и траектории движения главной режущей кромки в процессе обработки.
32. Назовите основные виды спиральных сверл, конструктивные и геометрические параметры их режущей части.
33. Приведите методы улучшения геометрических параметров спиральных сверл.
34. Укажите основные виды твердосплавных сверл, их эффективность и область применения.
35. Укажите особенности конструкции сверл для глубокого сверления.
36. Каково назначение зенкеров и зенковок, их конструктивные особенности.
37. Укажите назначение и разновидности разверток.
38. Назовите назначение и основные конструктивные особенности комбинированных инструментов для обработки отверстий.
39. Укажите основные конструкции расточных инструментов.
40. Перечислите основные виды абразивных материалов.
41. Назовите основные характеристики абразивных инструментов.
42. Укажите состав связок и их назначение.
43. Каковы особенности конструкции кругов для скоростного и обдирочного шлифования.
44. Перечислите основные технические характеристики инструментов алмазных и из кубического нитрида бора.
45. Для чего предназначены хонинговальные головки, укажите их конструкцию и предъявляемые к ним требования.
46. Каковы основные конструкции абразивных инструментов на гибкой основе?
47. Приведите основные конструкции инструментов для правки.
48. Требования, предъявляемые к креплению кругов, и условия техники безопасности.

§ 3.1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЗЬБЫ

Наружную и внутреннюю резьбу на деталях получают следующими основными способами:

вырезанием профиля резьбы режущим инструментом;

выдавливанием профиля резьбы выдавливающим инструментом;

накатыванием профиля резьбы накатным инструментом.

Обработку резьбы резанием осуществляют резьбовыми резцами, гребенками, метчиками, резьбовыми плашками, резьбонарезными головками, резьбовыми фрезами, шлифовальными кругами. Процесс резания характеризуется вырезанием слоев металла по профилю впадины.

Процесс выдавливания характеризуется наличием больших сил трения, так как инструмент и деталь работают по принципу пары скольжения без зазора. На этом принципе работают бесстружечные метчики для внутренних резьб и выдавливающие сборные плашки для наружных резьб.

Накатывание профиля резьбы осуществляют при силовом качении инструмента по поверхности заготовки. Накатывание отличается от выдавливания тем, что инструмент и деталь образуют пару качения, а не пару скольжения, что значительно уменьшает силы трения. К инструментам для накатывания относятся резьбонакатные плоские и сегментные плашки, резьбонакатные ролики, резьбонакатные головки аксиального, тангенциального и радиального типа. При выдавливании и накатывании профиль резьбы образуется за счет пластического деформирования металла.

Инструмент для нарезания резьбы. Схемы нарезания резьб различными видами инструмента приведены на рис. 3.1. Несмотря на многообразие резьбонарезного инструмента, можно выделить ряд общих признаков, на основе которых строят обобщенную модель образования резьбы.

Обобщенная модель образования резьбы характеризуется следующими общими признаками: формой режущего клина Φ ; числом n_z лезвий, расположенных на одном витке резьбы; числом n_0 режущих элементов, расположенных вдоль оси резьбы; числом n режущих элементов, одновременно участвующих в резании; толщиной слоя a_z металла, срезанного одним режущим элементом; движением режущего элемента v относительно детали.

Существуют четыре варианта оформления лезвия по передней и задней поверхностям: Φ_1 —плоскость и плоскость (резцы, дисковые фрезы, метчики); Φ_2 —плоскость и цилиндрическая поверхность (резцы круглые, гребенки и резьбонарезные головки); Φ_3 —плоскость и архимедова (цилиндрическая или коническая) поверхность (фрезы гребенчатые, метчики); Φ_4 —цилиндрическая и цилиндрическая или коническая архимедова поверхность (плашки, метчики).

Число лезвий, расположенных относительно одного витка резьбы: для однозубого инструмента $n_z=1$ (резцы); для многозубого инструмента $n_z=z$ (дисковые фрезы, головки для скоростного нарезания и др.).

Число лезвий, расположенных вдоль оси резьбы: для однозубого и одновиткового инструмента $n_0=1$ (резцы, дисковые фрезы, головки для скоростного нарезания); для многovitкового инструмента $n_0=l_p/P$, где l_p — длина рабочей части инструмента;

P — шаг резьбы (гребенчатые фрезы, многопрофильные резцы-гребенки); для инструмента, имеющего заборную (режущую) часть, $n_0 = l_1/P$, где l_1 — режущая часть инструмента (метчики, плашки, резьбонарезные головки).

Число режущих элементов, одновременно участвующих в резании, влияет на производительность, стойкость и силовую нагрузку на режущий инструмент. Чем больше n , тем выше стойкость и производительность при резьбообработке, но при этом увеличиваются силы резания.

Число лезвий для однозубого инструмента $n = n_0$ (резцы одно- и многопрофильные). Число лезвий для многозубых инструментов

$$n = l_{\max} n_0 / (\pi d),$$

где $l_{\max}$ — дуга окружности, определяющая максимально возможную зону обработки. В данной формуле соотношение $l_{\max} n_0 / (\pi d) = n_{\max}$ определяет максимально возможное число зубьев, одновременно участвующих в резании по одному витку, а расчетное значение $n_{\max}$ округляют до ближайшего наименьшего целого числа.

На основании обобщенной формулы можно определить число лезвий для любого инструмента: для метчика $n = n_b n_0 = z l_1 / P$, так как $l_{\max} / (\pi d) = 1$; для дисковой фрезы $n = l_{\max} n_b / (\pi d) = l_{\max} z / (\pi d)$; для гребенчатой многозубой фрезы $n = l_{\max} z l_p / (\pi d P)$.

Толщина слоя металла, снимаемого одним лезвием для всех резьбообразующих инструментов, кроме инструментов, работающих по принципу резьбофрезерования,

$$a_z = h_3 \cos \varphi / n,$$

где h_3 — высота профиля резьбы; при небольших значениях угла φ его влиянием пренебрегают.

Для инструментов, работающих по принципу резьбофрезерования, a_z зависит от подачи на один зуб.

Движения режущего элемента относительно детали также определяют тип режущего инструмента. Главное движение D_r — движение вращения режущего элемента относительно детали и движение подачи D_s вдоль оси заготовки присущи всем видам резьбообразующих инструментов.

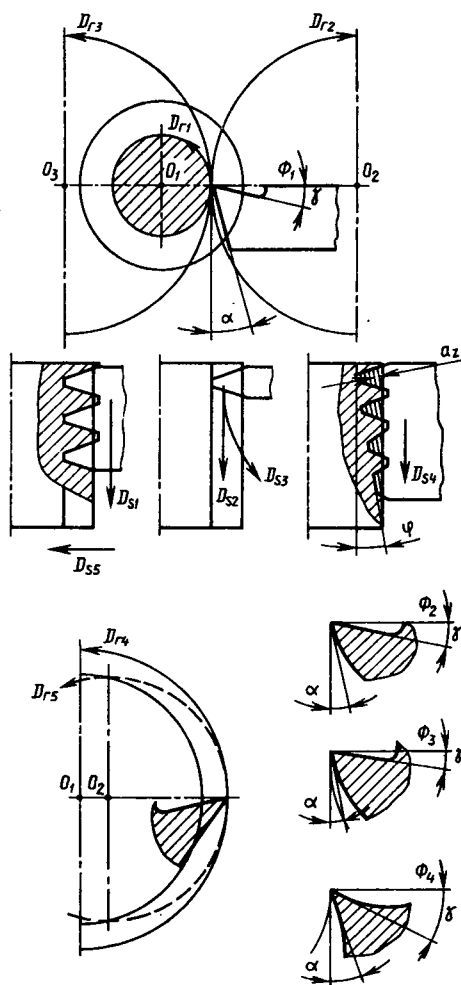


Рис. 3.1. Обобщенная модель образования резьбы резьбонарезным инструментом

Различные сочетания других видов движения в дополнение к основным D_r и D_s характеризует кинематику процесса резания для различных типов резьбообразующего инструмента.

Сочетание движений D_{r1} , D_{s2} — обработка резцом; D_{r1} , D_{s2} , D_{s3} — обработка обкаточным резцом; D_{r1} , D_{s4} — обработка многопрофильными резцами (гребенками); D_{r4} , D_{s4} — обработка метчиками, резьбонарезными головками, плашками; D_{r1} , D_{r2} , D_{s1} , D_{s5} — обработка резьбовыми фрезами, головками для скоростного нарезания на-

ружной резьбы; D_{r1} , D_{r3} , D_{s1} , D_{s5} — обработка резьбовыми охватывающими фрезами, головками для скоростного охватывающего нарезания наружных резьб, D_{r4} , D_{r5} , D_{s1} , D_{s5} — то же для внутренних резьб.

Значение подачи определяется шагом нарезаемой резьбы — за один оборот заготовки режущий элемент (или заготовка) перемещается на один шаг резьбы. Подача осуществляется или за счет кинематики станка, когда движения D_r и D_s взаимосвязаны, или за счет процесса самозатягивания, когда подача инструмента происходит за счет сил трения и наличия винтовой поверхности на инструменте.

Таким образом, обобщенная модель характеризует работу по всем основным параметрам любого типа резьбонарезного инструмента.

Резьбонарезные резцы. Резцы для нарезания резьбы представляют собой резьбонарезной однолезийный фасонный режущий инструмент, режущая кромка которого при обработке образует профиль резьбы всеми точками. Резцы предназначены для нарезания наружных и внутренних резьб различного профиля. Основные преимущества резцов по сравнению с другими резьбонарезными инструментами: простота конструкции и технологии изготовления; универсальность (возможность одним и тем же резцом нарезать резьбы различного диаметра и шага); высокая точность расположения оси обработанной резьбы относительно цилиндрической и торцевой поверхностей заготовки; возможность обработки резьб с переменным шагом и на конической поверхности.

Типы резцов. Выбор типа резца для заданного технологического процесса зависит от многих факторов: размеров профиля резьбы; диаметра и шага; вида резьбы (наружная или внутренняя); материала режущей части резца; серийности производства деталей с резьбой; типа станка и его состояния [4].

Резцы подразделяют:

по конструкции — на стержневые (рис. 3.2, а — г), призматические (рис. 3.2, б), круглые с кольцевой (рис. 3.2, д) и с винтовой (рис. 3.2, е) нарезкой;

по форме режущей кромки — на однопрофильные (рис. 3.2, а — г) и многопрофильные (рис. 3.2, д — ж);

по исполнению режущего элемента — на цельные, составные (рис. 3.2, а), сборные (рис. 3.2, б — г);

по виду работы — на черновые, чистовые;

по типу нарезаемой резьбы — на резцы для метрических резьб, резцы для трапецеидальных резьб.

Схемы резания. Последовательность срезания слоев металла резцами определяют принятой схемой резания, которая характеризует форму и размеры сечения срезаемого слоя для каждого резца.

Нарезание резьб мелкого модуля осуществляется за один проход. В этом случае глубина резания t_p равна высоте профиля резьбы h_3 (рис. 3.3, а). При нарезании многопрофильным резцом (гребенкой) глубина резания для каждого элементарного резца уменьшается в несколько раз (рис. 3.4, б):

$$t_p = h_3 P / l_1,$$

где l_1 — длина режущей части; P — шаг резьбы.

Многопроходное нарезание резьбы осуществляется по схеме радиального (рис. 3.3, б) или бокового врезания (рис. 3.3, в). При боковом врезании одна из режущих кромок работает с уменьшенной нагрузкой, что облегчает процесс резания, но ухудшает качество обрабатываемой поверхности. Этот недостаток можно устранить, применяя комбинированную схему резания (рис. 3.3, г).

Толщина слоя, срезаемого вершиной a_v , боковой левой a_l и правой a_n режущими кромками резца (рис. 3.3, б, в) при радиальном врезании: $a_v = t_p$; $a_l = a_n = t_p \sin \frac{\varepsilon}{2}$, при боковом врезании $a_v = t_p$; $a_l = 2t_p \sin \frac{\varepsilon}{2}$; $a_n = 0$.

При нарезании резьб глубокого профиля (трапецеидальной, прямоугольной и т. п.) применяют последовательное многопроходное точение несколькими резцами различных профилей, причем полный профиль нарезаемой резьбы имеет последний чистовой резец (рис. 3.3, е).

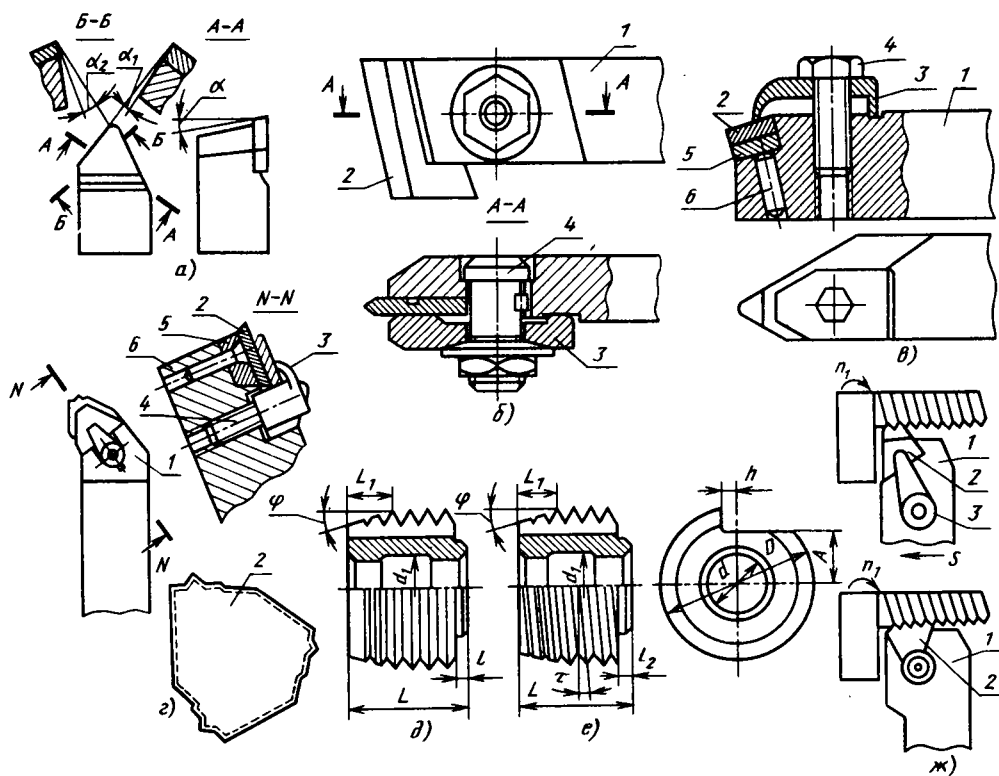


Рис. 3.2. Резьбонарезные резцы:

1 — корпус резца; 2 — вставка; 3 — прихват; 4 — болт; 5 — прокладка; 6 — штифт

Геометрия резьбовых резцов. При малом угле подъема (рис. 3.3, ж) резец устанавливают таким образом, чтобы ось симметрии профиля резца была расположена перпендикулярно к оси заготовки. Задние углы на боковых режущих кромках выполняют одинаковыми как для резцов из быстрорежущей стали, так и для резцов из твердых сплавов в пределах 4—6° для предварительного и 8—10° для окончательного нарезания. Задний угол на вершине принимают равным 15—20°.

Если угол подъема нарезаемой резьбы $\tau \geq 3...4^\circ$, то резец наклоняют к оси заготовки под углом $\lambda = \tau$ и передние углы на боковых режущих кромках γ_n и γ_n принимают одинаковыми (рис. 3.3, з), в противном случае $\gamma_n < 0^\circ$ и $\gamma_n > 0^\circ$.

Профиль резца. Профиль резьбового резца по передней поверхности совпадает с профилем резьбы в осевом сечении заготовки при $\gamma = 0^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$. Если $\gamma \neq 0^\circ$

и $\lambda \neq 0^\circ$, профиль резца отличен от профиля резьбы.

Существует следующая зависимость между размерами по высоте профиля заготовки h_3 и резца в плоскости передней поверхности t_n (рис. 3.3, у) при $\gamma \neq 0$:

$$t_n = r \sqrt{1 - \left(\frac{(r - h_3) \sin \gamma}{r} \right)^2} - (r - h_3) \cos \gamma,$$

где r — наружный радиус детали; γ — передний угол при вершине.

Абсциссы точек у основания профиля $z_n = z \pm P_n(\gamma - \gamma_1)$, где P_n — параметр винтовой поверхности; знак «+» — для правой стороны профиля, знак «—» — для левой стороны профиля; γ_1 — передний угол резца на окружности радиусом r_1 , рад.

Углы профиля резца соответственно для правой и левой сторон профиля определяют по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_n = \frac{z + p_n(\gamma - \gamma_1)}{t_n},$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_n = \frac{z - p_n(\gamma - \gamma_1)}{t_n},$$

$$\text{где } \cos(\gamma - \gamma_1) = \left| \sqrt{1 - \left(\frac{(r - h_3) \sin \gamma}{r} \right)^2} \right|.$$

Если профиль резца в плоскости передней поверхности принимается равным профилю резцы, то профиль резбы будет отличаться от теоретически заданного; тогда координаты действительного профиля резбы определяют по формулам:

$$x = x_1 \left| \sqrt{1 + \left(\frac{r_1 \sin \gamma}{x_1} \right)^2} \right|;$$

$$z = z_1 \pm P_n(\gamma - \gamma_1).$$

При небольшой высоте профиля резбы рассчитывают координаты только двух точек 1—2, так как точки 3—4 совпадают.

Если глубина профиля значительная, то можно выбрать несколько точек на профиле.

Наличие угла λ также вызывает необходимость пересчета координат: для резца

$$x_1 = x \left| \sqrt{1 - \left(\frac{z}{x} \operatorname{tg} \lambda \right)^2} \right|;$$

$$z_1 = \frac{z}{\cos \lambda} \pm P_n(\gamma - \gamma_1);$$

для детали

$$x = x_1 \left| \sqrt{1 + \left(\frac{z_1 \sin \lambda}{x_1} \right)^2} \right|;$$

$$z = z_1 \cos \lambda \pm P_n(\gamma - \gamma_1),$$

$$\text{где } \cos \gamma_1 = \left| \sqrt{1 - \left(\frac{z}{x} \operatorname{tg} \lambda \right)^2} \right|, \text{ или } \cos \gamma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{z_1 \sin \lambda}{x_1} \right)^2}}.$$

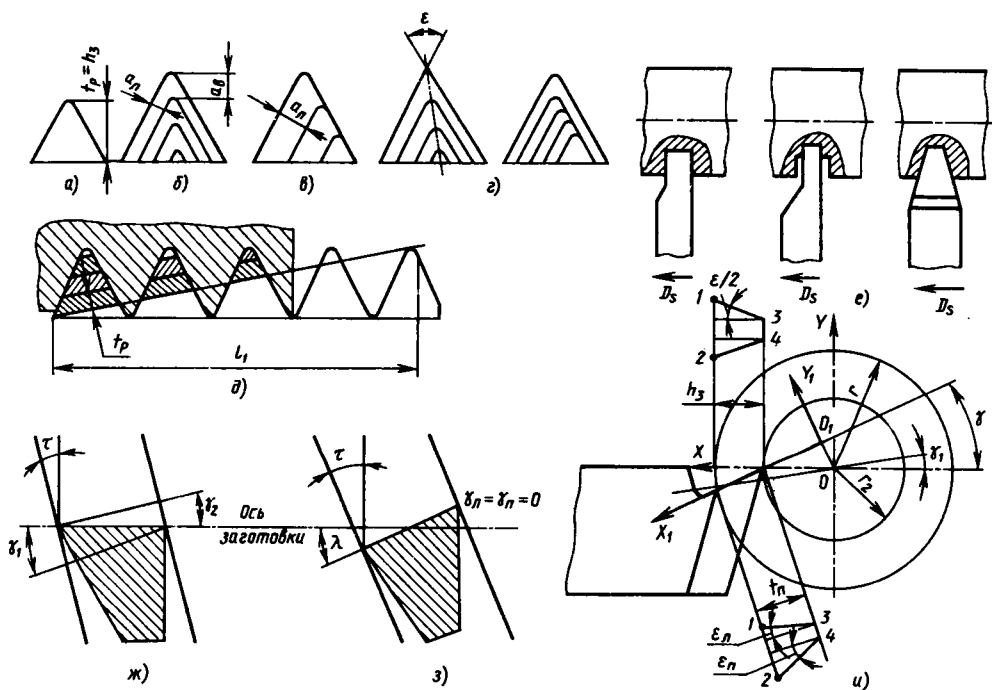


Рис. 3.3. Схемы нарезания резбы мелкого модуля

Если $\gamma \neq 0$ и $\lambda \neq 0$, то используют зависимости:

для профиля резца

$$x_1 = x \left| \sqrt{1 - \left(\frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z \operatorname{tg} \lambda \right)^2} \right|;$$

$$z_1 = \frac{z}{\cos \lambda} \pm P_d (\gamma - \gamma_d);$$

для профиля детали

$$x = x_1 \left| \sqrt{1 + \left(\frac{\frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z_1 \sin \lambda}{x_1} \right)^2} \right|;$$

$$z = z_1 \cos \lambda \pm P_d (\gamma - \gamma_d),$$

$$\text{где } \cos \gamma_1 = \left| \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z \operatorname{tg} \lambda}{x} \right)^2} \right|,$$

$$\text{или } \cos \gamma_1 = \frac{1}{\left| \sqrt{1 + \left(\frac{\frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z_1 \sin \lambda}{x_1} \right)^2} \right|}.$$

Метчики. Метчики предназначены для образования резьбы в отверстиях. По принципу работы их подразделяют на метчики, образующие профиль резьбы путем снятия стружки, метчики бесстружечные, образующие профиль резьбы без снятия стружки, и метчики с режущими и выглаживающими зубьями, образующие резьбу комбинированным способом (резанием и выдавливанием).

По конструкции и применению метчики делят на следующие типы.

1. Машинно-ручные для нарезания резьб как вручную, так и на станке (ГОСТ 3266—71); с шахматным расположением зубьев для обработки заготовок из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 17927—72) и для обработки заготовок из легких сплавов (ГОСТ 17928—72); бесстружечные (ГОСТ 18839—73).

2. Машинные для нарезания на станке метрической резьбы диаметром 0,25—0,9 мм; с укороченными канавками (ГОСТ 17931—72, ГОСТ 17930—72), с вин-

товыми канавками (ГОСТ 17932—72, ГОСТ 17933—72).

3. Гаечные для нарезания резьб в гайках на гайконарезных станках: с изогнутым хвостовиком (ГОСТ 6951—71); бесстружечные гаечные (ГОСТ 18840—73); с шахматным расположением зубьев для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 17929—72); бесстружечные с прямым хвостовиком (ГОСТ 18840—73).

4. Конические для нарезания конических резьб.

5. Метчики для круглой резьбы.

6. Метчики сборной конструкции, нерегулируемые и регулируемые (резьбонарезные головки для внутренней резьбы).

7. Специальные комбинированные (сверло-метчик), ступенчатые и др.

Выбор типа метчика, определение числа метчиков в комплекте, распределение нагрузки между метчиками в комплекте, выбор схемы резания и назначение конструктивных элементов выполняют с учетом размеров резьбы и ее точности, вида отверстия (глухое, сквозное), материала детали и условий производства.

Конструктивные элементы метчиков, их назначение и расчет размеров. К основным конструктивным элементам метчиков относятся (рис. 3.4, а): режущая (заборная) часть 1; калибрующая часть 2; хвостовик 3 с элементами крепления 4, 5; форма зуба 6 и стружечной канавки 7 и их направление; геометрические параметры режущей и калибрующей частей; профили резьбы метчика и его размеры.

Режущая часть предназначена для срезания слоев металла по всему контуру профиля резьбы. Калибрующая часть служит для окончательного формирования профиля (первым калибрующим витком), направления и подачи метчика под действием сил самозатягивания и является запасом на переточку при заточке метчика по наружной поверхности режущей части. Хвостовик предназначен для передачи крутящего момента от шпинделя станка.

Режущая часть метчика срезает слои металла по генераторной (рис. 3.4, б) или профильной (рис. 3.4, в) схеме. В большинстве случаев применяют генераторную схему (машинные, гаечные и другие мет-

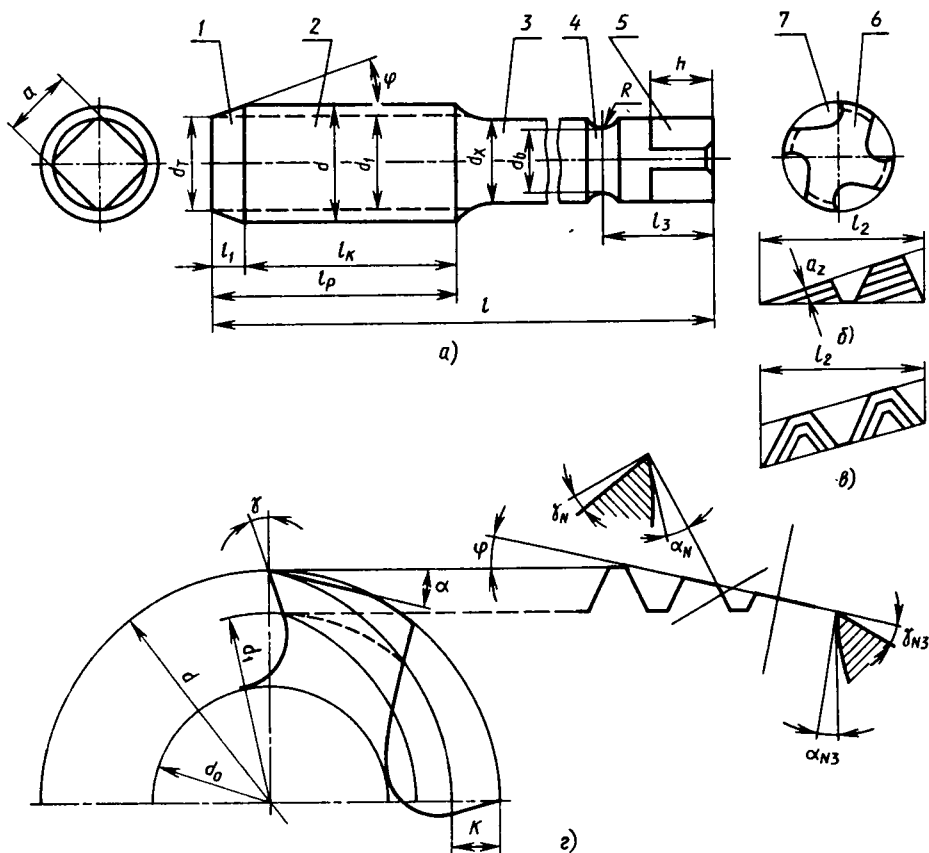


Рис. 3.4. Общий вид (а), схемы резания (б, в) и геометрические параметры (з) метчика

чики). Профильную схему применяют для калибрующих и конических метчиков.

Основные параметры режущей части: длина l_1 режущей части от торца до начала калибрующей части, угол конуса φ , длина l_2 режущей части, которая непосредственно участвует в резании.

Эти параметры взаимосвязаны:

$$l_1 = \frac{d - d_T}{2 \tan \varphi}, \quad l_2 = \frac{d - d_N}{2 \tan \varphi},$$

где d — наружный диаметр метчика; d_T — диаметр по торцу; d_N — диаметр отверстия под резьбу ($d_N > D_1$).

Диаметр по торцу и фаска обеспечивают плавный вход метчика в отверстие,

$$d_T = D_1 - (0,1 - 0,35).$$

Во многих случаях длину l_1 задают и тогда φ уточняют по формуле $\tan \varphi = (d - d_T) / (2l_1)$.

Длину l_1 назначают в зависимости от вида отверстия (глухое, сквозное), типа метчика (машинный, гаечный и т. п.), номера метчика в комплекте. Например, для машинных метчиков при нарезании в глухих отверстиях из-за сбега резьбы $l_1 = 2P$; для комплектов метчиков из трех штук: $l_1 = 6P$ — черновой (первый), $l_1 = 4P$ — черновой (второй), $l_1 = 2P$ — чистовой (третий).

Параметры l_2 и φ влияют на толщину стружки a_z , снимаемой одним режущим элементом метчика. Число режущих элементов $n = l_2 z / P$, где z — число зубьев метчика. Следовательно, $a_z = h_3 \cos \varphi / n$,

где h_3 — высота профиля резьбы. Оптимальное значение $a_z = 0,02 \dots 0,15$ мм. Минимальная толщина стружки должна быть сравнима с величиной скругления режущей кромки метчика. Для стали $a_z = 0,02 \dots 0,05$ мм, для чугуна $a_z = 0,06 \dots 0,07$ мм.

На рабочем чертеже метчика проставляют размеры l_1 и φ , угол определяют по формуле $\sin \varphi = a_z z / P$.

На длине режущей части l_1 метчик затылывают по задней поверхности с углом конуса φ . Форму кривой затылования метчика выбирают в зависимости от типа и размеров метчика, условий работы. Наиболее распространенной формой кривой затылования является архимедова спираль (рис. 3.4, з). Величина затылования

$$K = \frac{\pi d}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — задний угол, $\alpha = 4 \dots 20^\circ$ на наружном диаметре метчика. В любой другой точке на конусе режущей части задний угол α_i определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_i = K z / (\pi d_i),$$

где d_i — диаметр окружности соответствующего сечения конуса.

Задние углы α_N и α_{N3} в сечении, перпендикулярном к режущим кромкам метчика, соответственно равны:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\varepsilon}{2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{N3} = \operatorname{tg} \alpha_i \sin (90^\circ - \varphi),$$

где $\frac{\varepsilon}{2}$ — половина угла профиля резьбы. Угол α_N определяют для метчиков, шлифованных по профилю (профильная схема резания).

При достаточно больших углах α ослабляется тело зуба и ухудшаются условия переточки. В этом случае применяют комбинированное затылование: задняя поверхность затылуется на участке, прилегающем к режущей кромке, а на остальной части зуба оформляется по конусу.

Кинематический задний угол α_k режущей части может значительно отличаться от статического:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha - \frac{P}{\pi d_i} \operatorname{tg} \varphi.$$

При значительном уменьшении угла α_k по отношению к α_i необходимо увеличить угол α при вершине.

Передний угол γ на режущей и калибрующей частях принимают одинаковым, и в зависимости от материала заготовки $\gamma = 5 \dots 30^\circ$. Угол γ меняется по высоте профиля:

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \operatorname{tg} \gamma \frac{d}{d_i}.$$

В сечении, перпендикулярном к режущей кромке, передние углы определяют по формулам

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma_i \sin \frac{\varepsilon}{2}, \quad \operatorname{tg} \gamma_{N3} = \operatorname{tg} \gamma_i \sin (90^\circ - \varphi).$$

При обработке сквозных отверстий для перемещения стружки в направлении подачи режущую часть выполняют с отрицательным углом наклона λ режущей кромки (рис. 3.5, а) или применяют винтовое направление зуба с углом наклона ω (рис. 3.5, б).

После заточки по передней и задней поверхностям биение зубьев на режущей части по наружному диаметру не должно превышать для машинных метчиков $0,03 \dots 0,04$ мм, для гаечных $0,05 \dots 0,06$ мм. При большем значении биения создается неравномерная нагрузка на каждый режущий элемент, что понижает стойкость метчиков и увеличивает разбивку резьбы.

К а л и б р у ю щ а я ч а с т ь. Окончательные размеры и качество нарезаемой резьбы зависят от качества исполнения калибрующей части при прочих равных условиях.

Длину калибрующей части l_k (см. рис. 3.4, а) назначают с учетом длины нарезаемой резьбы и запаса на переточку при заточке по задней поверхности. Общая длина рабочей части метчика $l_p = l_1 + l_k$. После всех переточек длина калибрующей части должна составлять не менее $0,5$ диаметра нарезаемой резьбы.

Метчики по калибрующей части могут изготавливать без затылования по профилю, с затылованием — на $2/3$ ширины пера или с затылованием по всей ширине пера на $K = 0,01 \dots 0,02$ мм. Метчики диаметром до 10 мм в большинстве случаев выполняют незатылованными (рис. 3.5, з). Гаечные метчики затылуют на $2/3$ ширины пера, что улучшает направление метчика в процессе работы (рис. 3.5, д). В остальных

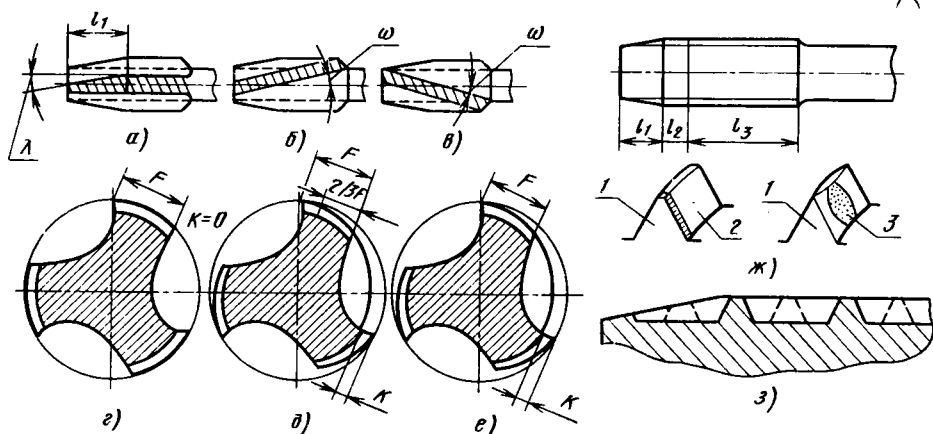


Рис. 3.5. Конструктивное оформление режущей и калибрующей частей метчика

случаях выполняют затылование по всей ширине зуба F (рис. 3.5, е).

Для лучшего направления метчика и устранения подрезания витков резьбы на ведущей калибрующей части l_3 метчика выполняют резьбу с бочкообразными элементами (рис. 3.5, ж). Направляющий участок 2, расположенный у передней поверхности 1, смещается на середину пера 3.

Резьбу калибрующей части выполняют с обратной конусностью (0,04—0,08 мм на 100 мм длины) по наружному диаметру для уменьшения трения и разбивки резьбы.

При нарезании резьбы в заготовках из пластичных материалов рекомендуется применять метчики с вырезанной в шахматном порядке ниткой на калибрующей части на всей длине, включая и режущую часть (рис. 3.5, з).

Размеры и допуски на профиль резьбы метчика. Назначение размеров и допусков на профиль резьбы метчика зависит от профиля, размеров и точности нарезаемого отверстия. На схеме (рис. 3.6) даны совмещенные поля допусков на гайку Г, болт Б и метчик М. Резьбовое соединение выполнено по переходной посадке. Номинальные значения диаметров метчика и гайки наружного (d, D), среднего (d_2, D_2) и внутреннего (d_1, D_1) одинаковы. Размеры

профиля резьбы зависят от высоты H теоретического профиля резьбы, шага P резьбы и половины угла профиля $\frac{\epsilon}{2}$ (для метрических резьб $\epsilon = 60^\circ$). В соответствии со стандартом на резьбы метрических резьб определяют по соотношениям: $H = 0,8660254 P$; $H_1 = 0,5412659 P$; $R = 0,1443276 P$.

Допуски на элементы резьбы метчиков

($d, d_2, d_1, P, \frac{\epsilon}{2}$) назначают согласно следующим стандартам: для машинно-ручных метчиков по ГОСТ 3266—71, для гаечных метчиков по ГОСТ 1604—71, для машинных с укороченными канавками по ГОСТ 17931—72, для метчиков машинных с винтовыми канавками по ГОСТ 17933—72.

Размеры допусков зависят от точности резьбы гайки, а класс точности метчика при нарезании резьбы выбирают в зависимости от степени точности нарезаемой резьбы: класс точности 1-й — степень точности нарезаемой резьбы — 4Н, 4Н5Н, 5Н, 6Г; 2-й — 5Н6Н, 6Н, 6Г, 7Г; 3-й — 6Н; 4-й — 6Н, 7Н.

Обозначение допуска резьбы гайки образуется сочетанием степени точности и основного отклонения по среднему и внутреннему диаметрам, при этом степень точности и отклонение по среднему диаметру ставятся на первом месте, например, 5Н6Н.

Указанные поля допусков нарезаемых резьб могут быть получены метчиками при эксплуатации их на станках, удовлетворяющих предъявляемым к ним нормам точности, с применением патронов, обеспечивающих самоустановку метчиков в радиальном направлении и компенсирующих несоосность отверстий и метчика.

Точность нарезаемых резьб зависит также от материала заготовки, скорости резания, смазочно-охлаждающей жидкости и других факторов, что допускает выбор метчиков других классов для обеспечения требуемой точности резьбы.

Средний диаметр d_2 резьбы метчика является основной величиной, характеризующей степень точности метчика, допуск на который Td_2 назначают с учетом погрешностей d_2 , P , $\epsilon/2$ гарантированного запаса на изнашивание и разбивки:

$$Td_2 = 0,2TD_2(5),$$

где TD_2 — допуск на средний диаметр резьбы степени точности 5 по ГОСТ 16093—81.

Нижнее отклонение:

$eid_2 = +0,1TD_2(5)$ — для метчиков класса точности 1;

$eid_2 = +0,3TD_2(5)$ — для метчиков класса точности 2;

$eid_2 = +0,5TD_2(5)$ — для метчиков класса точности 3;

$eid_2 = +0,3TD_2(5)$ — для метчиков класса точности 4.

Верхнее отклонение $esd_2 = eid_2 + Td_2$.

Гарантированный запас на износ по среднему диаметру $\Delta_2 = esd_2 - eid_2$. Разбивка $\delta_2 = D_{2max} - esd_2$. Предельные отклонения по наружному диаметру d метчика определяются размерами профиля резьбы и более интенсивным изнашиванием по вершинам профиля в процессе резания.

Нижнее отклонение $eid = 0,4TD_2(5)$.

Верхнее отклонение esd не проставляют при $d \leq 6$ мм из-за большого заострения. В остальных случаях для уменьшения заострения вершины профиля esd назначают на метчики для метрических резьб по ГОСТ 16925—71.

Внутренним диаметром метчик не должен срезать стружку, и поэтому верхнее отклонение $esd_1 \leq 0$. Дно впадины профиля

резьбы может быть произвольной формы, но не должно заходить за линию номинального профиля резьбы. Нижнее отклонение внутреннего диаметра резьбы метчика eid_1 не устанавливают. Внутренний диаметр метчика $d_{1max} = D_1$.

Отклонения на угол профиля резьбы ϵ назначают с учетом обеспечения симметричности профиля (допуск назначают на половину угла профиля $\epsilon/2$), погрешностей термообработки, возможностей по точности инструментов второго порядка (резцы, шлифовальные круги и т. п.). При шаге резьбы 0,25—5,0 мм допуск на половину угла профиля $T \epsilon/2 = \pm(40...15)'$ для метчиков класса точности 1, 2, 3 и $T \epsilon/2 = \pm(80...20)'$ для метчиков класса точности 4.

Отклонение шага P резьбы зависит от точности механизма резьбошлифовального станка для шлифованных метчиков и погрешностей термообработки для нешлифованных метчиков. Для метрических резьб у нешлифованных метчиков предельные отклонения по шагу на длине 25 витков равны $\pm 0,05$ мм для всего диапазона диаметров и шагов (класс точности 4), у шлифованных — 0,006...0,012 мм (класс точности 1, 2, 3).

Форма стружечных канавок, зубьев и их направление. Стружечные канавки служат

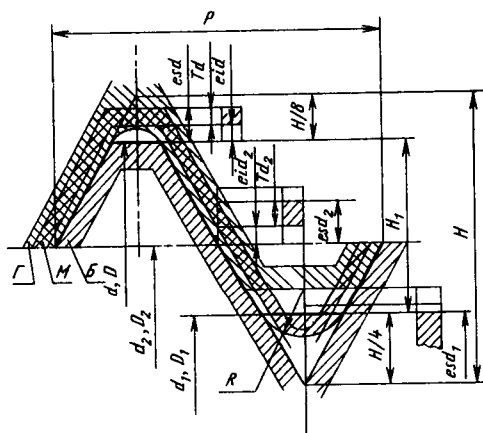


Рис. 3.6. Совмещенная схема допусков на гайку, болт и метчик

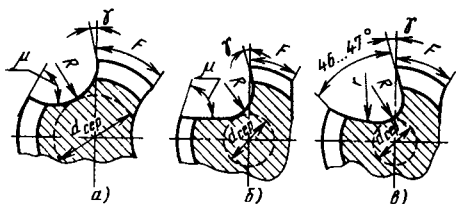


Рис. 3.7. Форма зуба и стружечных канавок метчиков

для размещения стружки и ее транспортирования, что обуславливает их направление и форму. Угол ω наклона канавок у основной массы выпускаемых метчиков равен 0° . Для лучшего удаления стружки метчики следует делать с винтовыми канавками левого направления (см. рис. 3.5, б) для сквозных отверстий с целью выталкивания стружки из отверстий (при правом направлении резьбы) и правого направления для глухих отверстий для отвода стружки из отверстий в направлении хвостовика (см. рис. 3.5, в). Предельное значение угла $\omega = 10...35^\circ$.

Число стружечных канавок влияет на толщину среза, силу и мощность, затрачиваемые на резание, на объем пространства для размещения стружки, на значение крутящего момента в зависимости от сил трения, на технологичность изготовления метчиков и выбор средств контроля параметров резьбы. Число канавок равно 2—6 при изменении наружного диаметра в пределах 2—52 мм.

Профиль поперечного сечения канавки (рис. 3.7) зависит от числа зубьев (или числа канавок), наружного диаметра метчика, материала заготовки, условий работы (без вывинчивания, с вывинчиванием из обрабатываемого отверстия), способа подвода смазочно-охлаждающей жидкости.

В общем случае форма поперечного сечения канавки должна обеспечить: достаточное пространство для размещения стружки; достаточную прочность зуба и метчика в целом; оптимальные геометрические параметры; отсутствие среза стружки при выворачивании.

Основными параметрами профиля канавки являются: передний угол γ , диаметр

сердцевины $d_{сер}$, радиус у основания зуба R , радиус по спинке зуба r , ширина пера F и угол нерабочей кромки μ . В процессе нарезания резьбы суммарный крутящий момент

$$M_{рез} = M_p + M_c + M_t,$$

где M_p — крутящий момент, расходуемый на «чистое» резание; M_c — крутящий момент трения стружки о канавку метчика; M_t — момент трения боковых сторон профиля метчика о резьбу.

Параметры профиля канавки влияют на суммарный крутящий момент: передний угол γ — непосредственно на момент M_p ; радиус у основания зуба r — на M_c ; ширина пера — на M_t . Передний угол γ выбирают в зависимости от материала детали, параметры R , r , F , $d_{сер}$, μ — в зависимости от размеров метчика и числа канавок. Форма канавок для четырех-, двух- и трехзубых метчиков приведена соответственно на рис. 3.7, а — в.

Для стандартных метчиков сечение стружечной канавки на всем протяжении рабочей части метчика остается постоянным или несколько уменьшается к хвостовику. На глубину и объем стружечных канавок влияют диаметр сердцевины $d_{сер}$ и ширина пера F . С уменьшением параметров $d_{сер}$ и F увеличиваются глубина и объем стружечной канавки, уменьшаются силы трения, но уменьшается прочность зуба и прочность метчика в целом, и наоборот — с увеличением $d_{сер}$ и F увеличивается прочность, но уменьшается объем стружечной канавки и увеличиваются силы трения или резания, что может привести к поломке метчика.

В зависимости от числа зубьев назначают $d_{сер}$ и F : при $z=3$ $d_{сер} = (0,35...0,4)d$, $F=0,3d$; при $z=4$ $d_{сер} = (0,4...0,5)d$, $F=0,2d$; при $z=6$ $d_{сер} = (0,5...0,55)d$, $F=0,16d$.

Профили канавок должны иметь плавные переходы между прямолинейными и криволинейными участками, и радиусы R и r выбирают наибольшими для уменьшения концентрации напряжений в канавках.

Угол нерабочей кромки $\mu = 80...85^\circ$, что позволяет при вывинчивании метчиков из отверстия устранить защемление стружки

и возможность среза обработанной поверхности резьбы.

Хвостовик метчика. Для передачи крутящего момента на хвостовике делают квадрат (см. рис. 3.4, а). Диаметр хвостовика $d_x = d_1 - (0,25 \dots 1,5)$ для диаметров $d = 7 \dots 52$ мм. При таком соотношении метчик свободно проходит через обработанное отверстие. Для метчиков малого диаметра $d_x > d$, что уменьшает число поломок.

Комплекты метчиков. Число метчиков в комплекте зависит от размеров профиля нарезаемой резьбы и свойств материала заготовки. Схему нарезания профиля комплектами метчиками назначают с занижением только наружного диаметра (рис. 3.8, в), для неточных резьб и с занижением по наружному и среднему диаметру — для точных резьб (рис. 3.8, б). Во втором случае последний метчик в комплекте обеспечивает обработку по всему профилю, что позволяет повысить точность нарезаемой резьбы.

Нагрузку на метчик в комплекте в зависимости от вырезаемой площади профиля резьбы назначают без учета принятой схемы резания: 50% — на первый, 35% — на второй и 15% — на третий метчик от общей площади профиля.

Размеры режущей части каждого метчика l_{11} , l_{12} и l_{13} и углы конуса l_1 , l_2 и l_3 зависят от числа шагов на режущей части (рис. 3.8, а). Длина первого метчика $l_{11} = 6P$, второго $l_{12} = 4P$, третьего $l_{13} = 2P$. Диаметр по торцу d_t и внутренний диаметр d_1 одинаковы для всех метчиков в комплекте. Наружный диаметр первого и второго метчиков соответственно равны: $d_{(1)} = d_{(3)} - 0,5P$; $d_{(2)} = d_{(3)} - 0,15P$, где $d_{(3)}$ — наружный диаметр третьего метчика.

Средние диаметры первого и второго метчиков занижают относительно среднего диаметра третьего метчика:

$$d_{2(1)} = d_{2(3)} - 0,15P; \quad d_{2(2)} = d_{2(3)} - 0,07P.$$

Допуски по среднему диаметру на первый и второй метчики (рис. 3.8, в) ($Td_{2(1)}$, $Td_{2(2)}$) назначают с учетом занижения среднего диаметра первого и второго метчиков относительно третьего. Если значения занижения близки к допуску на средний диаметр гайки, то допуски $Td_{2(2)}$ и $Td_{2(1)}$ принимают равными допуску $Td_{2(3)}$.

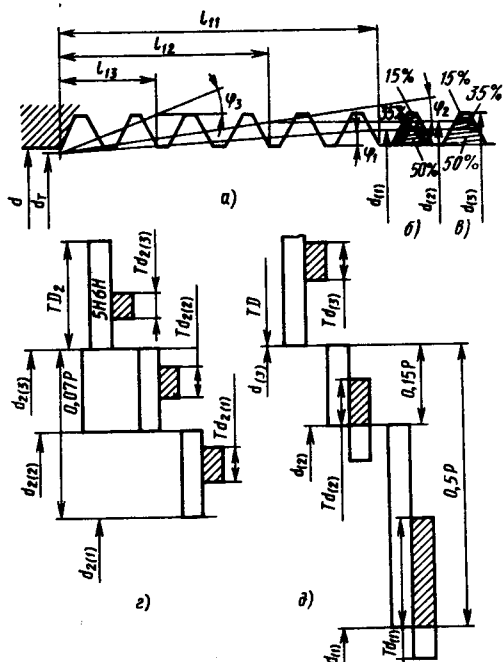


Рис. 3.8. Конструктивное оформление режущей части комплектных метчиков и схема допусков

Если занижение больше допуска на гайку, то допуски $Td_{2(2)}$, $Td_{2(1)}$ увеличивают во столько же раз.

Допуски на наружные диаметры $Td_{(2)}$, $Td_{(1)}$ назначают в 2—3 раза меньше относительно занижения по наружному диаметру, причем нижнее отклонение равно или меньше номинала (рис. 3.8, б).

Бесстружечные метчики. При обработке вязких материалов применяют бесстружечные метчики. Вместо стружечных канавок рабочая часть в сечении имеет многогранник (рис. 3.9), на заборном конусе резьба шлифована на конус, затылование отсутствует. В процессе формирования резьбы происходит выдавливание по всему профилю. Метчики в процессе эксплуатации не перетачивают.

Твердосплавные метчики. При обработке заготовок из сталей и сплавов, имеющих прочность $\sigma_b = (180 \dots 210) 10^7$ Па и 48—53 HRC, и из некоторых неметаллических материалов применяют твердосплавные метчики. Для резьб диаметром 6—12 мм метчики изготовляют цельными и состав-

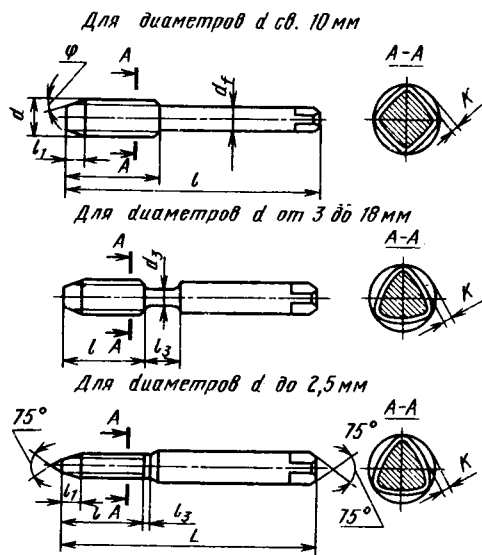


Рис. 3.9. Бесстружечные метчики

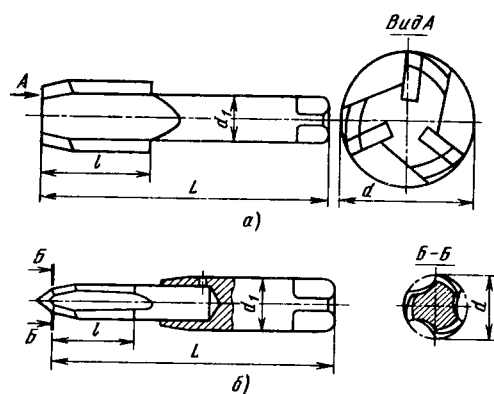


Рис. 3.10. Твердосплавные метчики

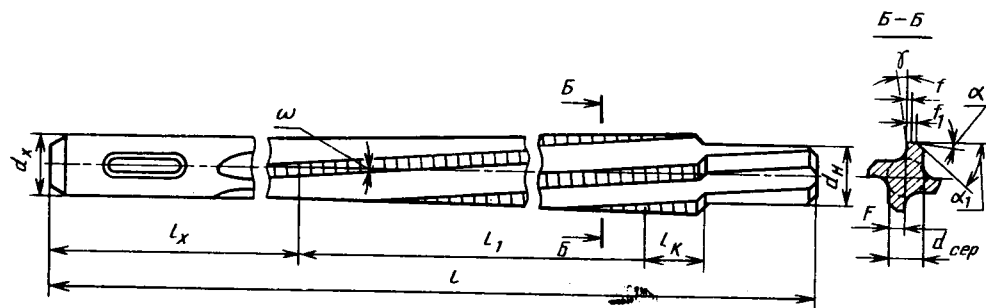


Рис. 3.11. Метчик-протяжка

ными с припаянными твердосплавными пластинами (рис. 3.10, а). Для резб диаметров 2—4 мм метчики выполняют со вставной режущей частью (рис. 3.10, б). Материал режущей части ВК6-М и ВК10-М обеспечивает наибольшую стойкость.

Метчики должны быть затылованы по профилю на всей длине рабочей части при обратной конусности 0,02 мм на 10 мм длины. Дно канавки выполняют с уклоном 2—3° для увеличения прочности метчика.

Метчики-протяжки. Нарезание резьб крупного профиля производят комплектом из нескольких метчиков или одним метчиком-протяжкой (рис. 3.11). Метчик-протяжку предварительно вставляют в нарезаемую заготовку, как при протягивании. Длина хвостовика $l_x = l_d + 50$, где l_d — длина детали. Длина режущей части $l_1 = Pt/(za_2)$, где h_3 — высота профиля резьбы. Длина калибрующей части $l_k = 4P$. Диаметр хвостовика $d_x = d_n = d_o$, где d_n — диаметр задней направляющей; d_o — наименьший диаметр отверстия под резьбу. Угол профиля канавок $\psi = 80...90^\circ$.

Профиль резьбы не затылуют, поэтому по наружному диаметру остается ленточка шириной $f = 0,5...0,8$ мм. Заднюю поверхность затачивают под углом $\alpha = 12...15^\circ$ на ширину $f_1 = 3...5$ мм с дополнительным шлифованием под углом $\alpha_1 = 30...60^\circ$. Угол наклона канавок $\omega = 2\tau$, где τ — угол подъема резьбы. Диаметр сердцевин метчика-протяжки $d_{сер} = 0,5d$, ширина пера $F = (0,25...0,35)d$. Резьбу нарезают без реверсирования [49].

Другие типы специальных метчиков и основные направления совершенствования конструкций. К специальным типам метчиков относятся: метчики с передней или задней цилиндрической направляющей, позволяющие повысить точность нарезаемых резьб; метчики с режущими и выглаживающими зубьями; метчики с внутренним подводом жидкости; метчики сборной конструкции с регулированием по диаметру нарезаемой резьбы; метчики для нарезания резьб крупного профиля с передачей крутящего момента с двух торцов, комбинированный метчик-сверло для одновременного сверления отверстия и нарезания резьбы в нем. Указанные типы метчиков отражают и основные направления их совершенствования.

Плашки. Плашки предназначены для нарезания наружных резьб. По типу наре-

заемой резьбы плашки подразделяют на плашки круглые для метрической резьбы, плашки круглые для круглой резьбы, плашки круглые (ГОСТ 6228—80) для конической резьбы и др.

Основными конструктивными элементами круглых плашек являются режущая часть, калибрующая часть, число, диаметр и расположение стружечных отверстий, ширина и форма пера, наружный диаметр D , ширина плашки H , элементы крепления.

Режущая часть. Плашки имеют две режущие части (рис. 3.12, а) с каждого ее торца длиной $l_1 = l_2$, что обеспечивает увеличение срока службы плашки. Режущая часть выполняет основную работу по формированию профиля резьбы. Угол конуса φ и длина режущей части зависят от материала заготовки. Для обработки

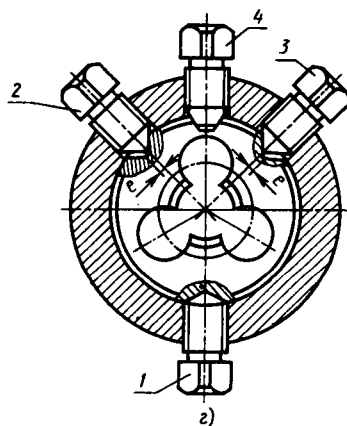
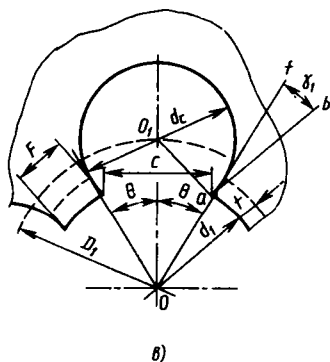
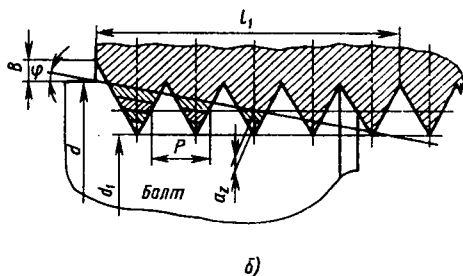
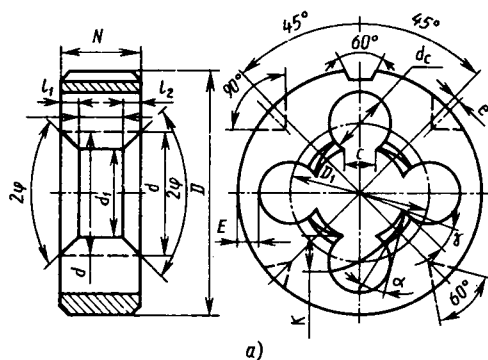


Рис. 3.12. Конструкция резьбонарезной плашки:

а — общий вид; б — режущая часть; в — стружечное отверстие; г — схема крепления

высокопрочных сталей $2\varphi = 30^\circ$, для легких сплавов и цветных металлов $2\varphi = 50^\circ$ (70°). В общем случае угол 2φ назначают в пределах от 25 до 90° [48].

Длина режущей части

$$l_1 = (d - d_1 + 2l) / (2 \tan \varphi),$$

где d — наружный диаметр резцы; d_1 — внутренний диаметр резцы; l — длина, гарантирующая плавный вход заготовки в отверстие плашки, $l = 0,2 \dots 0,4$ мм (рис. 3.12, б).

Толщину среза a_z для плашек определяют так же, как и для метчиков. Но по отношению к метчику $a_z = 0,04 \dots 0,38$ мм значительно больше из-за малой длины режущей части плашек ($l_1 = (3 \dots 4)P$).

Режущую часть плашек затачивают по передней и задней поверхностям. Угол γ задают на внутреннем диаметре резцы и назначают в зависимости от материала детали от 10 до 30° . Задний угол на режущей части задают также по внутреннему диаметру, $\alpha = 6 \dots 9^\circ$. Угол α определяют по величине затылования $K = l d_1 \tan \alpha / z$.

Калибрующая часть. Длину l_k калибрующей части плашки принимают равной $3 \dots 5P$. Таким образом, общая длина режущей и калибрующей частей составляет $(6 \dots 10)P$, что и определяет ширину плашки H . При $H > (6 \dots 10)P$ в процессе термообработки возникают значительные погрешности по шагу, и у плашек для мелких резьб с торца делают выточку для уменьшения числа ниток. По профилю резцы плашки не затылуют, и боковые углы $\alpha_b = 0^\circ$.

Плашки не шлифуют по профилю, поэтому они нарезают резцы не выше степени точности $6h, 8h$, т. е. резцы с переходными посадками, и $6g, 6e, 6d$ — резцы с посадками с зазором.

Наружный диаметр плашки и форма пера. Наружный диаметр D плашки и ширину F пера определяют в зависимости от внутреннего диаметра d_1 резцы, диаметра d_c стружечных отверстий и величины E , определяющей прочность корпуса плашки (рис. 3.12, а): $D = d_1 + 2d_c + 2E$. По наружному диаметру D и ширине H плашки унифицированы.

Централизованно выпускаемые плашки имеют цилиндрическую форму стружечных

отверстий, образуемых сверлением. Диаметр d_c стружечных отверстий определяют в зависимости от ширины пера F (рис. 3.12, а), расстояния s между перьями. Соотношение F/c должно удовлетворять условиям прочности и жесткости пера, создавать надежное центрирование и направление плашки в работе, обеспечивать несколько переточек и достаточное пространство для размещения стружки. Оптимальное соотношение $F/c = 0,65 \dots 0,8$.

Если известно число перьев z и соотношение F/c , то

$$c \approx \pi d_1 / (1,65 \dots 1,8) z,$$

где z назначают в зависимости от диаметра резцы. При изменении диаметра резцы $d = 1 \dots 80$ мм число перьев $z = 3 \dots 12$.

Зная размер c , из точки a , лежащей на внутреннем диаметре резцы плашки, проводим прямую ab под углом γ к лучу O_f . К отрезку ab в точке a восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с осевой линией OO_1 . Точка пересечения O_1 определяет центр стружечного отверстия, а отрезок aO_1 его радиус r_c [14].

Диаметр стружечного отверстия

$$d_c = c / \cos(\theta + \gamma),$$

где θ — угол между прямыми OO_1 и AO , $\sin \theta = 2aO_1/d_1$.

Диаметр, на котором располагают центры стружечных отверстий, $D_1 = c[\tan(\theta + \gamma) + \cot \theta]$.

Элементы крепления плашек. Плашки закрепляют или в воротке (при ручной работе) или в патроне. Для крепления на наружной поверхности плашки выполняют три или четыре конических углубления (рис. 3.12, г): нижние гнезда с углом конуса 60° под установочный винт 1, верхние с углом 90° поджимные, смещены от оси на величину $e = 0,5 \dots 2$ мм для лучшего закрепления плашки винтами 2 и 3. У новых плашек сверху делают паз, перемычка которого разрезается после двух-трех переточек. Поджимные гнезда после удаления перемычки позволяют винтами 2—4 регулировать диаметр нарезаемой резьбы.

Резьбовые фрезы. Резьбовые фрезы относятся к многозубым инструментам, благодаря чему процесс резбонарезания ста-

новится более производительным по отношению к резцам.

Типы фрез. По конструкции резбовые фрезы подразделяют на следующие типы: гребенчатые цилиндрические для нарезания резьб неглубокого профиля с шагом 0,5—6 мм (рис. 3.13, а); дисковые для нарезания резьб крупного профиля (рис. 3.13, б); гребенчатые сборные охватывающие (рис. 3.13, в); головки для скоростного фрезерования резьбы с крупным шагом (рис. 3.13, г).

Гребенчатые резбовые фрезы. Фрезерование резьб в несколько раз производительнее по сравнению с обработкой резцами, но из-за наличия кольцевых витков профиль резьбы искажается. Поэтому гребенчатые резбовые фрезы применяют в основном для нарезания крепежных резьб.

Основными конструктивными элементами фрез являются: диаметр фрезы, диаметр отверстия, длина фрезы, число зубьев, форма зуба и впадины, направление стружечных канавок, размеры профиля резьбы. Диаметр гребенчатой фрезы $d = D_{отв} + 2E + 2H$, где $D_{отв}$ — диаметр по-

сачного отверстия; E — толщина корпуса фрезы; $E = 0,3...0,4$ диаметра отверстия; H — глубина стружечной канавки.

Глубина стружечной канавки

$$H = h_3 + K + r + e,$$

где h_3 — глубина профиля резьбы; K — величина затылования на шлифовальном участке; r — радиус стружечной канавки у основания зуба; e — дополнительное значение, равное 1—2 мм.

При выборе диаметра фрезы необходимо учитывать размеры деталей крепления на станке. У насадной фрезы по торцу предусмотрена выточка диаметром D_1 и глубиной l_1 для размещения элементов крепления.

При обработке внутренней резьбы диаметр фрезы должен быть не менее 0,85—0,9 диаметра отверстия. Длина фрезы $l = l_d + (2...3)Pi$, где l_d — длина нарезаемой резьбы; i — число заходов резьбы.

Длина фрезы не должна превышать 100 мм, так как с увеличением длины при термической обработке возможны большие искажения по шагу и профилю резьбы.

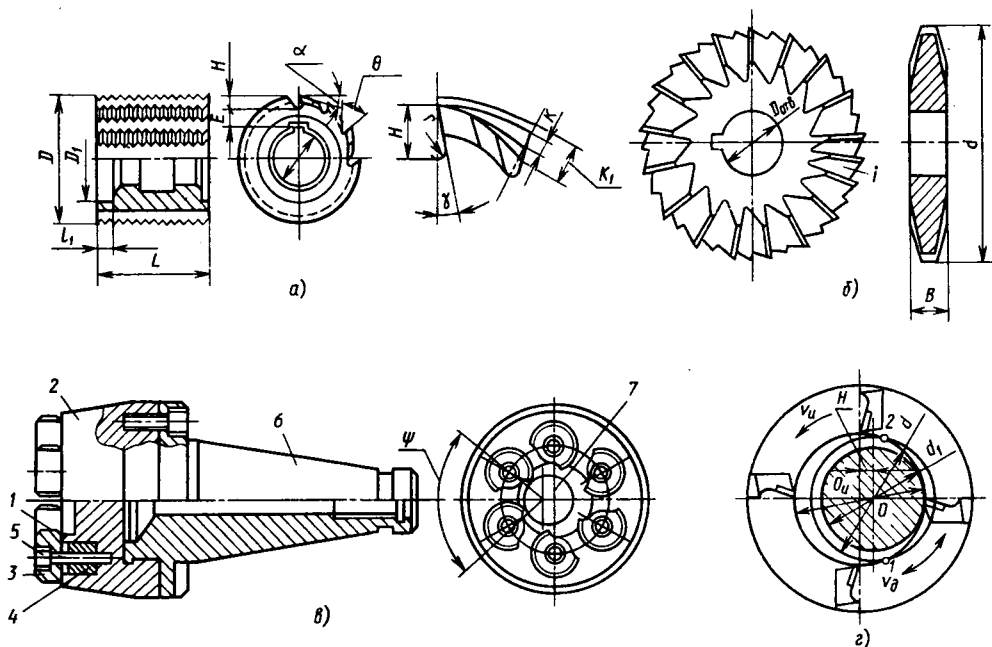


Рис. 3.13. Резбовые фрезы

Число зубьев зависит от наружного диаметра d :

$$z = (1,6 \dots 1,8) \sqrt{d}.$$

Для уменьшения вибраций рекомендуются фрезы выполнять с углом наклона стружечных канавок $\omega = 5 \dots 10^\circ$.

Фрезы затачивают по передней поверхности под углом γ , который назначают в зависимости от материала детали: $\gamma = 0^\circ$ для чугуна, латуни, бронзы и твердой стали; $\gamma = 5^\circ$ для стали средней твердости и $\gamma = 10 \dots 15^\circ$ для легких сплавов и мягких сталей. Затылование по задней поверхности должно обеспечить задний угол по вершине $\alpha = 8 \dots 10^\circ$ и на боковых сторонах профиля $\alpha = 4 \dots 5^\circ$.

Для обеспечения выхода резца при затыловании и круга при шлифовании профиля резцы впадину делают как можно шире и угол $\theta = 30 \dots 45^\circ$, а ширину впадины $0,35 \dots 0,4$ окружного шага фрезы.

Величину затылования назначают от 1,25 до 3 мм при изменении диаметра от 15 до 90 мм, задний угол на вершинах и боковых сторонах профиля определяют по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{Kz}{\pi d}; \quad \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{d}{d_i} \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\varepsilon}{2},$$

где d — наружный диаметр фрезы; d_i — диаметр окружности, на которой расположена расчетная точка; $\frac{\varepsilon}{2}$ — половина угла профиля резцы.

Размеры профиля резцы контролируют по передней поверхности. При $\gamma = 0$ высота головки фрезы $t_1 = 0,288 P$, высота ножки $t_2 = 0,325 P$ для наружных резцов. Допуск на высоту головки назначают с учетом погрешностей изготовления и запаса на изнашивание. При наличии переднего угла γ корректируют профиль в плоскости передней поверхности.

Высота головки в плоскости передней поверхности

$$t'_1 = R \cos \gamma - (R - t) \sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \gamma}{R - t} \right)^2}.$$

Высота ножки $t'_2 = t' - t'_1$, где t' — полная высота профиля в плоскости передней поверхности,

$$t' = R \cos \gamma - (R - t) \sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \gamma}{R - t} \right)^2}.$$

Угол профиля в плоскости передней поверхности

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon_1}{2} = \frac{t}{t'} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2},$$

где $\varepsilon_1/2$ — скорректированная половина угла профиля.

Дисковые фрезы. Для нарезания трапецеидальных резцов с крупным шагом большого диаметра применяют дисковые резцовые фрезы (рис. 3.13, б). Фрезы выполняют острозаточенными с чередующимися зубьями. Для проверки профиля после перетачивания один зуб i изготавливают с полным профилем.

Охватывающие резцовые фрезы. Для фрезерования коротких резцов применяют гребенчатые сборные охватывающие фрезы, оснащенные круглыми гребенками (рис. 3.13, в). Гребенки 1 закрепляют в корпусе 2 звездочками 3, втулкой 4 и винтом 5. Для крепления на станке служит конический хвостовик 6. Угол контакта зубьев фрезы ψ с заготовкой 7 при охватывающем фрезеровании значительно больше, чем при фрезеровании гребенчатыми фрезами, что позволяет увеличить число одновременно работающих зубьев и, следовательно, производительность головки.

Головки для скоростного фрезерования. Для обработки наружных резцов большого диаметра применяют головки для скоростного фрезерования, которые представляют собой сборный инструмент (рис. 3.13, г), оснащенный резцами с пластинами из твердого сплава. В корпусе головки размещается от 2 до 12 резцов. Центр головки O_n смещен относительно центра заготовки O на величину H . Резцы вступают в контакт с заготовкой в точке 1 и выходят из контакта в точке 2. Фрезерование производится за один рабочий ход на токарном станке. Производительность обработки повышается в 2,5—3 раза по сравнению с фрезерованием дисковыми фрезами.

Резьбонарезные головки. Резьбонарезные головки представляют собой сборный инструмент сложной конструкции, осна-

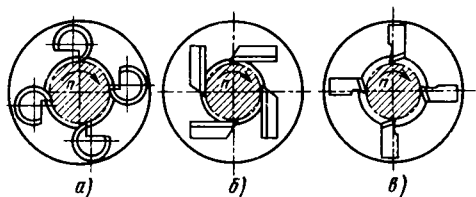


Рис. 3.14. Схема работы резьбонарезных головок

шенный комплект круглых гребенок (рис. 3.14, а) или плоских плашек (рис. 3.14, б, в). Головки обеспечивают высокую производительность благодаря применению повышенной скорости резания и быстрого отвода после нарезания.

По конструкции головки подразделяют на следующие типы: по расположению плашек относительно нарезаемой детали — радиальные (рис. 3.14, а, в) и тангенциальные (рис. 3.14, б); по кинематике движения — вращающиеся для токарных полуавтоматов и невращающиеся для револьверных и резьбонарезных станков; по виду обрабатываемой резьбы — для обработки наружных резьб и для обработки внутренних резьб.

Наибольшее распространение имеют самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками. В зависимости от размеров нарезаемых резьб головки обозначают 1К—5К (невращающиеся) и 1КА—5КА (вращающиеся). Резьбонарезная головка с круглыми гребенками (рис. 3.15) невращающегося типа имеет четыре круглые гребенки 1 с кольцевой резьбой, закрепленные винтами 2 на кулачках 3.

Последовательность перемещения гребенки с кулачком представлена на циклограмме (рис. 3.15, б). Исходное положение гребенки 1 на циклограмме обозначено точкой а. Плашки сведены, и головка движется вместе с суппортом, нарезаая резьбу (участок *ab*). При остановке суппорта (или остановке корпуса 4 упором) остановится хвостовик 5 (точка *b*). Плашкодержатель 6 под действием сил самозатягивания перемещается вперед на величину Δ , сжимая пружины 7 кольцом 8, закрепленным винтами 9. Корпус 4 останавливается, упираясь в выступ А на хвостовике,

а плашкодержатель продолжает перемещаться (участок *bc*). В точке *c*, как только плашкодержатель выйдет на длину *l* из корпуса 4, кулачки 3 вместе с гребенками 1 под действием пружин 10, нажимающих на штифты 11 и шпильки 12, разойдутся, перемещаясь в точку *d* (участок *cd*). Головка раскрыта, и в раскрытом состоянии она перемещается на расстояние *de* обратного хода. В точке *e* вручную (или с помощью упора) плашкодержатель вдвигают в корпус 4 рукояткой 13, на которую нажимает пружина 14. Корпус 4, скользя по скосам 16 кулачков 3, сводит гребенки в рабочее положение (участок циклограммы *fa*).

Головку можно регулировать в зависимости от диаметра нарезаемой резьбы. Для этого необходимо с помощью регулировочных винтов поворачивать плашкодержатель 6 относительно корпуса 4 в направлении стрелки С. За счет лыски на внутренней поверхности корпуса 4 и затылочной поверхности на кулачке гребенка вместе с кулачком удаляется или приближается к центру головки.

Режущая кромка гребенки должна устанавливаться относительно заготовки в определенное положение, обеспечивая заданный угол γ на режущем элементе, расположенном в месте перехода режущей части гребенки в калибрующую. Для этого между кулачком и гребенкой установлена двухвенцовая звездочка 15. Число зубьев на венце, который вставлен в отверстие звездочки, на один больше относительно числа зубьев малого венца. Если повернуть звездочку вместе с гребенкой на величину $\frac{1}{z_1}$ по часовой стрелке, а затем гребенку на величину $\frac{1}{z_2}$ против часовой стрелки, то перемещение

$$a = \pi d(1/z_1 - 1/z_2),$$

где *d* — наружный диаметр гребенки.

Перемещение вершин гребенок относительно заготовки составляет 0,2—0,3 мм, что позволяет с помощью специального прибора точно настроить резьбонарезную головку на заданные геометрические параметры.

Размеры кулачков и гребенок определяются шагом *P* и углом подъема резьбы

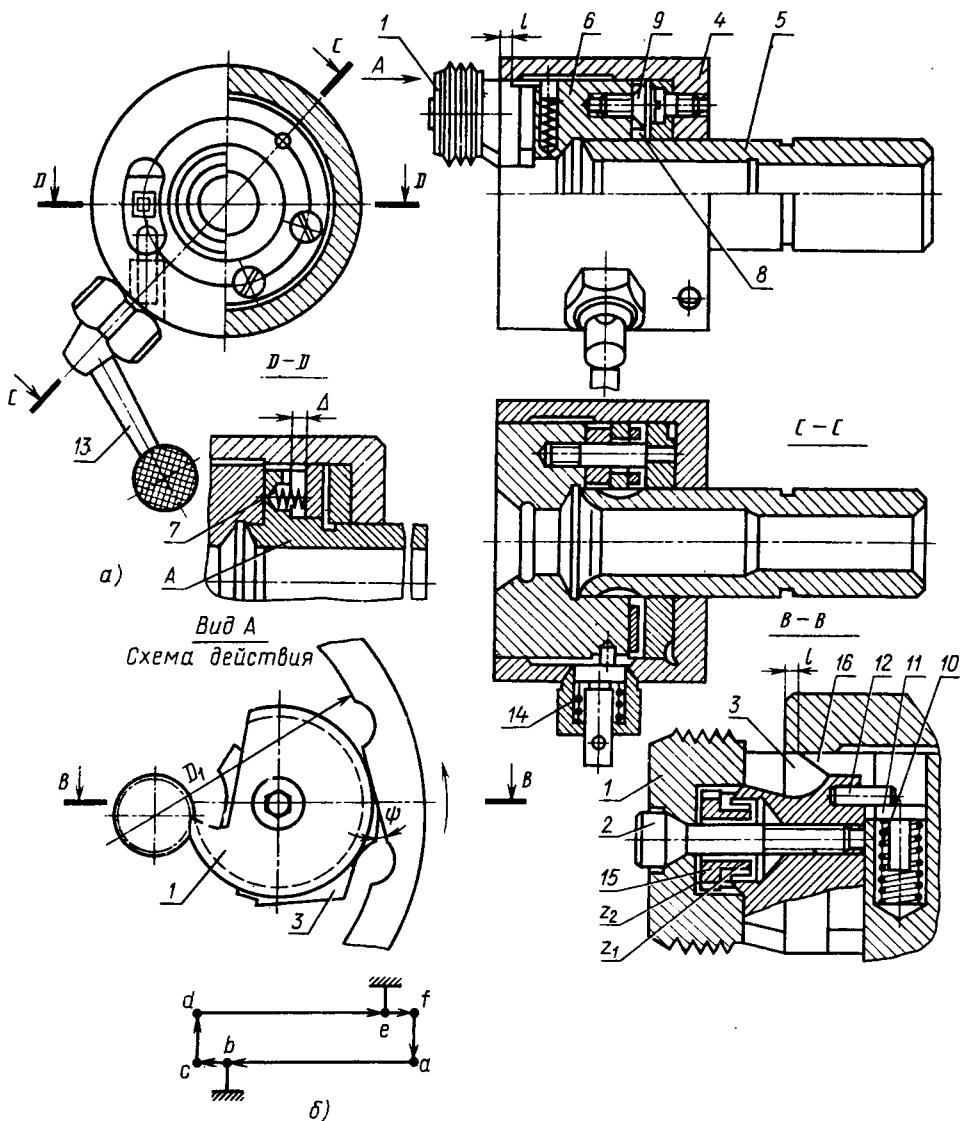


Рис. 3.15. Конструкция (а) и принцип действия (б) резьбонарезной головки с круглыми гребенками

т. Опорная поверхность кулачка наклонена на угол $\tau_1 = \tau \pm (10...15^\circ)$, так как гребенка имеет кольцевую нарезку (рис. 3.16, а). Угол подъема резьбы $\text{tg} \tau = P/(\pi d_2)$.

Кольцевые нарезки соседних гребенок должны быть расположены со смещением по оси детали на величину $\delta = P/z$, где

z — число гребенок. Для этого необходимо, чтобы каждая гребенка в комплекте имела определенное расположение нарезки относительно опорного торца. Наружный диаметр гребенки d должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить необходимую прочность гребенки, но при этом необходимо учитывать величину развода кулач-

ков, диаметр головки $D_{\text{гол}}$ и зазор между плашками Δ_n при их сближении.

Диаметр гребенки $d = D_k - 2c - d_1 + 2t$, где D_k — внутренний диаметр нажимного кольца головки; c — расстояние от центра звездочки до центральной точки опорной поверхности кулачка; d_1 — внутренний диаметр резьбы детали; t — постоянная величина, зависящая от размера заготовки.

Ход кулачка l_k необходимо учитывать при расчете d и проверять по формуле $2(d + l_k) + d_1 \leq D_{\text{гол}}$. В сведенном состоянии между гребенками выдерживают минимально допустимый зазор Δ_n , значение которого должно удовлетворять неравенству

$$\sqrt{2} \left(\frac{d + d_1}{2} \right) \geq \frac{d}{2} + R + \Delta_n,$$

где R — минимальный радиус закругления срезанной части плашки.

В рабочем положении режущая кромка гребенки располагается относительно центра нарезаемой детали на некотором расстоянии a относительно оси детали. Из-за наличия углов наклона режущей кромки λ , переднего угла γ и угла скоса кулачка τ_1 превышение a является переменной величиной в каждом сечении гребенки. Поэтому значение превышения задают в сечении

$N - N$, т. е. в сечении первого полного витка гребенки, и задний угол α в этом сечении определяют по формуле $\sin \alpha = 2(h - a)/d$, где h — смещение центра гребенки относительно оси детали.

Смещение оси гребенки относительно оси детали и превышение вершины режущей кромки гребенки приводит к изменению задних и передних углов в различных сечениях (рис. 3.16, б):

при $a = 0$ $\alpha_k = \alpha$; $\gamma_k = \gamma$,

при $a > 0$ $\alpha_k = \alpha - \Delta\alpha$; $\gamma_k = \gamma + \Delta\gamma$,

при $a < 0$ $\alpha_k = \alpha + \Delta\alpha$; $\gamma_k = \gamma - \Delta\gamma$,

где α_k , γ_k — новые значения соответственно задних и передних углов; $\Delta\alpha$ и $\Delta\gamma$ — приращение заднего и переднего углов.

Длина гребенки $l = l_1 + l_2 = (7 \dots 8)P$, где l_1 — длина режущей части; l_2 — длина калибрующей части. Угол φ режущей части принимают равным 20° .

Для лучшего отвода стружки и обеспечения процесса самозатягивания режущая кромка наклонена по отношению к оси детали под углом $\lambda_1 = \tau_1 + \lambda$, где λ — угол наклона режущей кромки к оси гребенки. Угол λ_1 принимают равным $1^\circ 30' - 7^\circ$ в зависимости от длины нарезаемой резьбы и ее типа (цилиндрическая или коническая).

Инструменты для накатывания резьбы. Накатывание резьбы — наиболее произво-

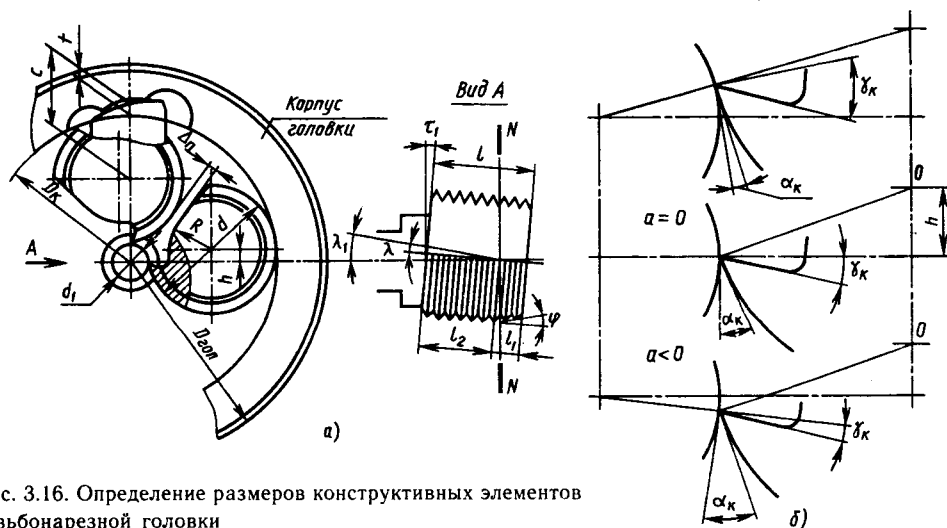


Рис. 3.16. Определение размеров конструктивных элементов резьбонарезной головки

длительный способ образования резьбы на деталях без снятия стружки методом пластического деформирования. Преимущества резьбонакатывания по сравнению с резьбoreзанием следующие: улучшение физико-механических свойств поверхностного слоя металла, так как в результате наклепа усталостная прочность резьбы повышается на 20—40%; экономия металла на 10—30%, так как диаметр заготовки под резьбу меньше диаметра получаемой резьбы и процесс идет без снятия стружки; точность и шероховатость поверхности резьбы соответствуют шлифованию; производительность при накатывании в десятки раз выше производительности при резьбoreзании.

Существуют следующие типы инструментов и способы накатывания резьб.

1. Резьбонакатные ролики для накатывания резьб по способу радиального движения подачи роликов; касательного движения подачи заготовок и с осевым движением подачи заготовок.

2. Резьбонакатные головки, оснащенные комплектом роликов: головки аксиального типа с осевой подачей заготовки; головки тангенциального типа; головки радиального типа с радиальной подачей роликов.

3. Резьбонакатные плашки: плоского типа, сегментного типа и выдавливающие сборные плашки.

Выбор типа инструмента и способа накатывания зависит от типа резьбы и ее размеров, точности, длины и материала заготовки.

Резьбонакатные ролики и головки. Накатывание роликами является одним из самых универсальных и точных методов накатывания, отличающихся наиболее широкими технологическими возможностями. Накатывание резьбы роликами возможно по различным схемам: с радиальным движением подачи роликов, с касательным движением подачи заготовок, с осевой подачей заготовок.

Наиболее распространенный способ — накатывание резьбы с радиальной подачей. Ролики 1 и 2 (рис. 3.17) вращаются синхронно, и $v_1 = v_2 = v_3$ (v_1 , v_2 , v_3 — окружные скорости соответственно первого, второго роликов и заготовки). Заготовка вращается под действием ролика, и

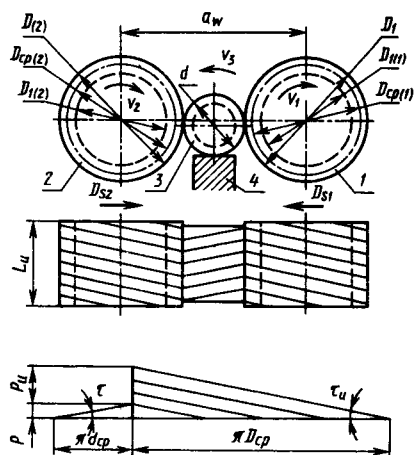


Рис. 3.17. Схема образования резьбы резьбонакатными роликами.

ось заготовки располагается ниже центров ролика на 0,2—0,3 мм для предотвращения выталкивания заготовки в процессе накатывания. Заготовку 3 устанавливают на опорную линейку 4.

В начале накатывания расстояние между роликами

$$a_w = d + D_1/2 + D_2/2,$$

где D_1 и D_2 — наружные диаметры первого и второго роликов, которые принимают одинаковыми с целью получения равенства окружных скоростей.

В процессе накатывания ролики сближаются (движение подачи D_{s1} и D_{s2}), и в конце рабочего хода расстояние между роликами

$$a'_w = d_1 + \frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{2},$$

где d_1 — внутренний диаметр нарезаемой резьбы.

Направление резьбы на ролике противоположно направлению резьбы на детали. Основным условием получения правильной резьбы является равенство углов подъема резьбы ролика и заготовки: $\tau = \tau_n$. Для улучшения процесса накатывания и увеличения стойкости инструмента диаметр ролика D должен быть как можно больше. Выбор его ограничен конструкцией станка и числом заходов i , которое не

должно превышать 70. При $i > 70$ ухудшается шлифование резьбы роликов.

Число заходов i ролика определяется из следующих соотношений:

$$\operatorname{tg} \tau_n = \frac{P_n}{\pi D_{cp}}; \operatorname{tg} \tau = \frac{P}{\pi d_2};$$

при $\tau_n = \tau$ $i = P_n / P = D_{cp} / d_2$.

Число заходов i должно быть целым.

Средний диаметр ролика назначают с учетом числа заходов ($D_{cp} = d_2 i$), конструкции станка и запаса на изнашивание. Новый ролик имеет завышенный средний диаметр, а перешлифованный — заниженный:

$$D_{\text{ср.нов}} = D_{cp} \pm \Delta D_{cp},$$

где Δ принимает в зависимости от диаметра самого ролика и диаметра резьбы, ориентировочно $\Delta = 0,017 \dots 0,018$.

Наружный диаметр нового ролика $D_{\text{нов}} = D_{\text{ср.нов}} + 2t_n'$, где t_n' — высота головки резьбы ролика. Ширина ролика $L_n = l + (2 \dots 3)P$, где l — длина заготовки.

Накатывание с касательным движением подачи заготовок. При данном способе накатывания ролики находятся на постоянном межосевом расстоянии a_w друг от друга, и накатывание осуществляется с помощью подающих устройств — сепараторов (рис. 3.18, а). Заготовки 1 принудительно подаются из бункера 2 в непрерывно вращающийся сепаратор 3, который переносит заготовки в рабочую зону и удаляет их по окончании накатывания.

Накатывание с касательным движением подачи возможно двумя роликами с разными окружными скоростями: v_1 и v_2 (рис. 3.18, б). При одинаковых диаметрах роликов D_1 и D_2 это достигается различной частотой их вращения n_1 и n_2 , а при одинаковой частоте вращения роликов — различными диаметрами.

Накатывание с осевым движением подачи заготовок. По этому способу накатывают детали большой длины. Осевая подача осуществляется за счет осевой составляющей силы накатывания, возникающей при скрещивающемся расположении осей роликов. Скорость осевой подачи достигает 9000 мм/мин.

Наиболее распространенной схемой накатывания является накатывание двумя (рис. 3.18, в, г) или тремя (рис. 3.18, д) роликами с кольцевой или винтовой нарезкой (рис. 3.18, в). При наличии кольцевой нарезки оси роликов наклонены относительно оси заготовки на угол подъема τ накатываемой резьбы. При этом способе одним комплектом возможно накатывание как правых, так и левых резьб различного диаметра путем изменения угла наклона шпинделей роликов.

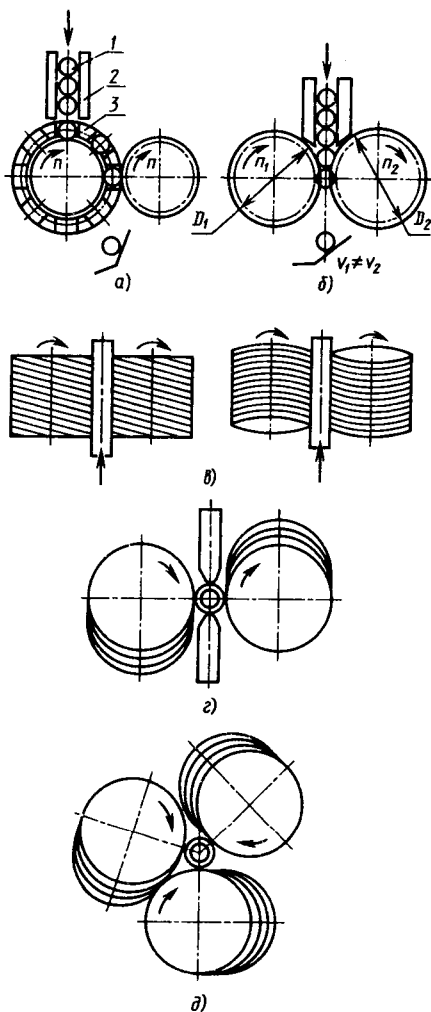


Рис. 3.18. Способы резьбонакатывания

Резьбонакатные головки аксиального типа. Нераскрывающиеся головки выполнены в виде сборного инструмента, на корпус 1 которого установлены на осях ролики 2 (рис. 3.19, а). Ролики вращаются вокруг своих осей и наклонены под углом τ_n , равным углу подъема резьбы. По окончании накатывания головка свинчивается. Все ролики имеют заборную часть, а по шагу смещены относительно друг друга на $1/n$, где n — число роликов.

Наибольшее распространение получили резьбонакатные самораскрывающиеся головки (рис. 3.19, б). В конце накатывания ролики расходятся, и заготовка освобождается. Головки подразделяются на вращающиеся и невращающиеся. Вращающиеся головки устанавливают на агрегатных станках и станках-автоматах, а невращающиеся — на revolverных станках.

Наиболее распространенной конструкцией резьбонакатных головок являются головки ВНГН-2, ВНГН-3, ВНГН-4, ВНГН-5, предназначенные для накатывания резьб диаметром 4—52 мм с шагом 0,7—5 мм. Для накатывания трапецидальных резьб диаметром 16—43 мм выпускают головки ВНГН-трап. 1, ВНГН-трап. 2, ВНГН-трап. 3, ВНГН-трап. 4.

Накатывание тангенциальными головками. Двухроликовую тангенциальную головку (рис. 3.19, в) применяют на станках

токарной группы. Вращение роликов осуществляется под действием принудительно вращающейся заготовки. Окончание накатывания произойдет тогда, когда оси роликов и заготовки окажутся в одной плоскости, а вершины ниток одного ролика будут точно расположены против впадин другого.

Отечественная промышленность выпускает тангенциальные головки ТНГВ, ТНГС-1, ТНГС-2 для накатывания резьб соответственно диаметром 3—6, 6—20, 24—52 мм.

Плоские резьбонакатные плашки. Плоские плашки универсальны и просты по конструкции, но не обеспечивают стабильности диаметра накатываемой резьбы, и поэтому их применяют для накатывания резьбы на болтах, винтах, шурупах, шпильках. На рис. 3.20 показан способ накатывания резьб двумя плашками, из которых одна 1 неподвижна, а подвижная 3 совершает возвратно-поступательное движение. При главном движении D_1 производится накатывание резьбы на заготовке 2. Движение плашки D_2 — вспомогательный ход, в конце которого следующая заготовка с помощью толкателя устанавливается между плашками. Благодаря наличию на плашке заборной части заготовка заклинивается, а затем прокатывается между плашками. Плашки располагаются строго параллельно, а витки резьбы смещены от-

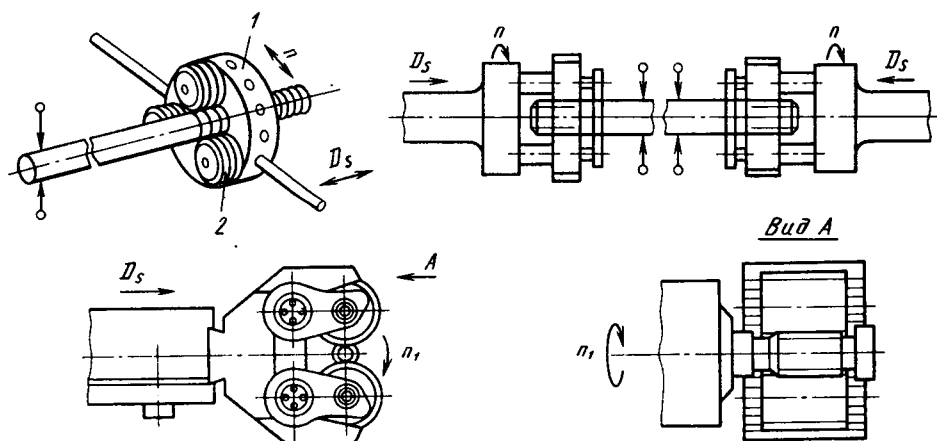


Рис. 3.19. Резьбонакатные головки

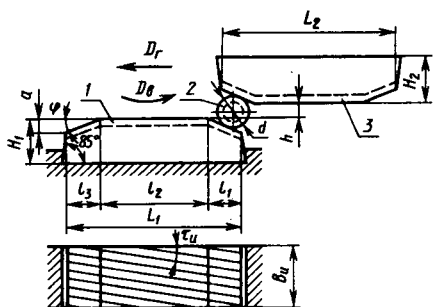


Рис. 3.20. Схема образования резьбы резбо-накатными плашками

носительно друг друга на $0,5P$. Расстояние между плашками в процессе накатывания равно внутреннему диаметру накатываемой резьбы.

Длина подвижной плашки $L_2 = L_1 + (15...25)$, где L_1 — длина неподвижной плашки. При таком соотношении L_1 и L_2 обеспечивается гарантия сброса заготовки с неподвижной плашки в конце рабочего хода.

Общая длина неподвижной плашки

$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 = (5...8) \pi d_{cp},$$

где l_1 — длина заборной части; l_2 — длина калибрующей части; l_3 — длина сбрасывающей части.

Заборная часть выполняет основную работу по формированию профиля резьбы и должна обеспечить достаточную точность резьбы и стойкость самой плашки. Принимают $l_1 = l_3 = (3...4) \pi d_{cp}$. Величина среза в начале заборной части для обеспечения полного захвата заготовки

$$a = (d - d_1) / 2 + x,$$

где x — принимают в пределах 0,07—0,2 мм при шаге 3—24 мм.

Калибрующая часть окончательно формирует резьбу, $l_2 = (2...3) \pi d_{cp}$.

Ширину B плашек 7 устанавливают с учетом возможности использования плашек с перестановкой по ширине не более 2 раз, ширина не должна превышать 70 мм:

$$B = 2l_p + (2...3)P,$$

где l_p — длина накатываемой резьбы;

(2...3) P — величина, гарантирующая обработку заготовки по длине.

Толщину плашек принимают с учетом их перешлифовки; $H_1 = H_2 = 25...50$ мм, где H_1 — толщина подвижной плашки; H_2 — толщина неподвижной плашки.

Допуски на элементы резьбы плашек и роликов. Допуски назначают на половину угла профиля в пределах 25—10' для точных деталей (винтов, шпилек и т. п.); на шаг резьбы на длине 10 мм: для точных деталей — 0,01 мм, для неточных — 0,015 мм. Высоту головки определяют с учетом запаса на изнашивание и допустимой минимальной величины заострения резьбы на вершине. Высоту ножки назначают с учетом того, что основание впадины инструмента не должно соприкасаться с обрабатываемой заготовкой.

Автоматизированное проектирование резьбообразующих инструментов. Резьбообразующие инструменты имеют широкую номенклатуру типоразмеров, которая в значительной части производится на машиностроительных предприятиях. Следовательно, целесообразно на данный вид инструмента разрабатывать программы для его расчета, получения чертежа, распечатки технологического процесса, расчета норм времени на его изготовление.

В качестве примера на рис. 3.21 приведен алгоритм комплексного автоматизированного проектирования метчиков. В данном случае под комплексностью понимают так называемый сквозной САПР — расчет, проектирование, технология, нормирование.

Ввод данных на деталь (блок 1) должен содержать информацию о размерах детали и профиле резьбы, материале детали, условиях производства и др. На основе достаточной информации выбирается тип метчика (блок 2) из сформированного банка данных 3 по метчикам. Выбор материала метчика (блок 4) осуществляется с помощью банка данных инструментальных материалов 5 по коду материала детали. С учетом выбранного инструментального материала и материала детали формируются геометрические параметры из банка данных 7 «Геометрия». Далее следует расчет конструктивных элементов (d_c , d_t , l_1 , l_2 , l_k , ϕ , z). Рас-

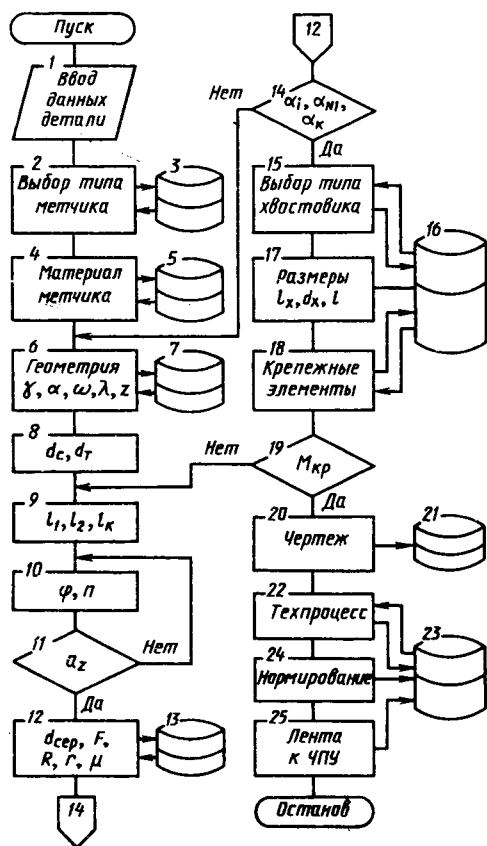


Рис. 3.21. Алгоритм комплексного автоматизированного проектирования метчиков

чет α_z является поверочным, и в случае неудовлетворительного значения изменяют параметры режущей части l_1, l_2, φ_1, z . В блоке 12 формируются параметры поперечного сечения метчика. Банк данных 13 по выбору $d_{сер}, F, R, r, \mu$ позволяет более корректно определить данные величины. Расчет углов $\alpha_i, \alpha_N, \alpha_K$ является контрольным (блок 12), и в случае малых их значений производится корректировка.

Выбор типа хвостовика (блок 15) реализуется по материалам базы данных по хвостовикам с последующим расчетом размеров, если это необходимо (блоки 17, 18). Расчет $M_{кр}$ относится к поверочным (блок 19) с последующей корректировкой параметров, влияющих на значение $M_{кр}$. Программа «Чертеж» (блок 20) форми-

рует документацию в виде рабочих чертежей с последующей передачей данного чертежа в банк данных ранее спроектированных специальных инструментов (блок 21).

Программа «Техпроцесс» (блок 22) или выбирает типовой технологический процесс из банка данных 23, или формирует новый с последующей передачей в банк данных.

Программа «Нормирование» (блок 24) определяет время на изготовление метчиков по каждой операции с учетом информационной базы по нормированию (блок 23). В блоке 25 подготавливаются управляющие программы для станков с ЧПУ для обработки заготовок метчиков.

§ 3.2. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Общие вопросы проектирования зуборезных инструментов. Зуборезные инструменты применяются для обработки зубьев зубчатых колес. Их конструкция определяется формой и размерами зубьев колес, кинематикой процесса обработки и условиями работы инструмента. Рассмотрим инструменты для образования зубьев прямозубых зубчатых цилиндрических колес с внешним профилем. Наиболее распространены эвольвентные зубчатые колеса. Профиль их зубьев в торцовом сечении образован по эвольвенте — кривой, образуемой точкой M прямой l (производящей) при ее качении без скольжения по основной окружности 2 радиусом r_b (рис. 3.22, а). В полярной системе координат форма эвольвенты определяется радиусом-вектором r_M точки M эвольвенты и полярным (эвольвентным) углом θ_M между радиусами-векторами OM и OA соответственно данной и начальной точек эвольвенты;

$$r_M = r_b / \cos \alpha_M; \theta_M = \text{inv} \alpha_M = \text{tg} \alpha_M - \alpha_M, \quad (3.1)$$

где α_M — угол (параметрический) профиля данной точки эвольвенты между радиусом-вектором OM точки эвольвенты и касательной 3 к эвольвенте в этой же точке. Его значение определяют по формуле

$$\cos \alpha_M = r_b / r_M. \quad (3.2)$$

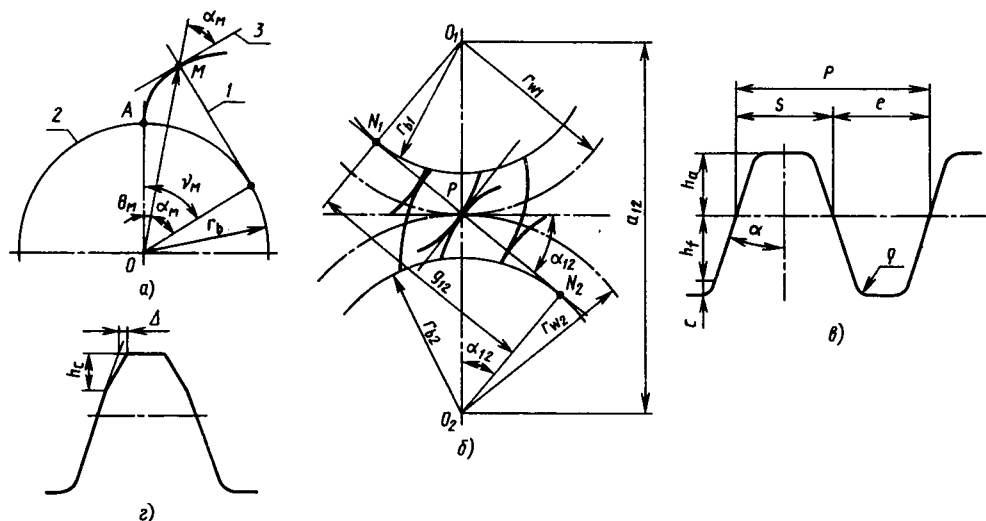


Рис. 3.22. Определение формы профиля зубьев зубчатого колеса:
 а — эвольвента; б — касание двух эвольvent; в — исходный контур; г — контур со срезом

Угол ν_M , на который должна быть повернута производящая прямая l для образования данной точки эвольвенты, есть угол развернутости

$$\nu_M = \operatorname{tg} \alpha_M. \quad (3.3)$$

Рассмотрим взаимодействие двух эвольvent (рис. 3.22, б). Центры O_1 и O_2 основных окружностей (радиусы r_{b1} и r_{b2}) расположены на расстоянии a_{12} друг от друга. Если эти эвольвенты, поворачивая вокруг центров O_1 и O_2 , привести в соприкосновение, то в точке контакта они имеют общую касательную, а нормаль к ним совпадает с прямой N_1-N_2 (внутренней касательной к их основным окружностям).

При повороте эвольvent точка их касания перемещается по прямой N_1-N_2 . Ее называют линией зацепления. Точку P пересечения линии N_1-N_2 с линией центров O_1-O_2 называют полюсом зацепления. Окружности, концентричные основным окружностям, проходящие через полюс P , при обеспечении касания эвольvent перекатываются друг по другу без скольжения: они являются центроидами, и

их называют начальными окружностями с радиусами r_{w1} и r_{w2} *.

Угол, образованный линией зацепления и прямой, перпендикулярной к линии центров (межосевой линии), называют углом зацепления α_{12} ,

$$\cos \alpha_{12} = (r_{b1} + r_{b2}) / a_{12}. \quad (3.4)$$

Длина линии зацепления между точками N_1 и N_2 $g_{12} = N_1N_2 = a_{12} \sin \alpha_{12}$.

Профиль и размеры зубьев колес определяют исходным контуром (ГОСТ 13755—81) (рис. 3.22, в) при обкате им колеса. Шаг зубьев $p = \pi m$. Обкатывание может быть осуществлено при различных положениях исходного (производящего) контура относительно колеса. При номинальном положении (исходного контура), т. е. при касании его средней линии делительной окружности колеса, получается колесо без смещения, и при

* Индекс 1 относится к обрабатываемому колесу, индекс 2 — к зацепляемому с ним колесу, индекс 0 — к инструменту.

смещенном положении рейки получается колесо с положительным или отрицательным смещением. В дальнейшем рассмотрим инструменты для образования зубьев колес без смещения (коэффициент смещения $x=0$). Для колес со смещением ($x \neq 0$) требуется соответствующая корректировка размеров профиля режущих кромок зубьев инструментов.

Делительная окружность зубчатого колеса является базой для определения формы и размеров зубьев. Диаметр делительной окружности

$$d_1 = mz, \quad (3.5)$$

где модуль m — условная величина, определяющая размеры колес и их зубьев $m = p/\pi = d_1/z_1$.

В процессе обкатывания боковые стороны зубьев рейки (исходного контура) образуют эвольвентный профиль зубьев колеса, диаметр основной окружности которого

$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha, \quad (3.6)$$

где α — угол профиля исходного контура; $\alpha = 20^\circ$ (ГОСТ 13755—81).

Исходя из размеров исходного контура определяют размеры зубьев колеса: толщина зубьев по дуге $s_1 = 0,5\pi m$; высота делительной головки зуба $h_{a1} = h_{a1}^* m = m(h_{a1}^* = h_{a1}/m)$;

диаметр вершин $d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = d_1 + 2m$;

высота делительной ножки зуба $h_{f1} = h_{a2} + c_{12}$, где c_{12} — радиальный зазор между колесами, $c_{12} = 0,25 m$, иногда допускается $c_{12} = 0,3 m$;

диаметр окружности впадин $d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} = d_1 - 2,5m$, где m , $2m$ и $2,5m$ соответствуют ГОСТ 13755—81.

Для обеспечения плавности пересопрежения зубьев в процессе зацепления, для улучшения работы тяжело нагруженных и высокоскоростных зубчатых передач внешнего зацепления рекомендуется применять исходный контур с модифицированным профилем головки зуба (рис. 3.22, г). При применении этого профиля образуется срез боковой стороны профиля зубьев у окружности вершин колеса. Модификацию исходного контура производят по пря-

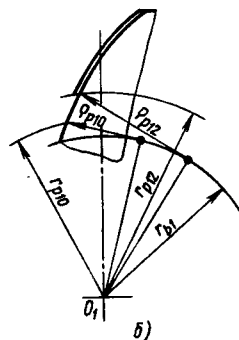
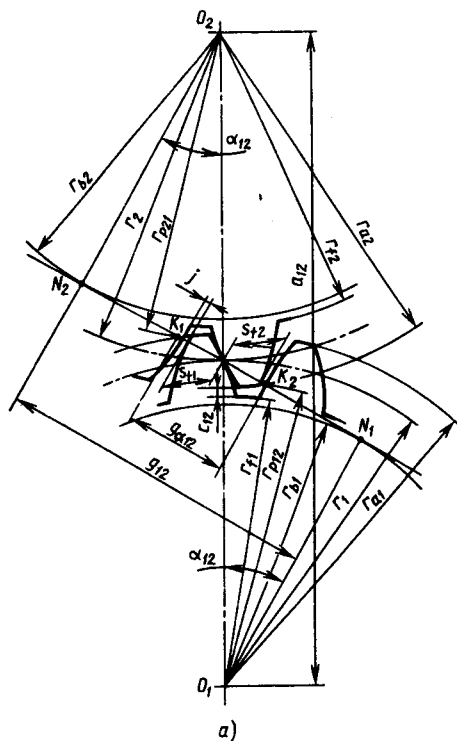


Рис. 3.23. Зацепление двух колес:
а — размеры зубчатых венцов и определение границы зацепления; б — рабочий и нерабочий участки профиля зуба

мой на высоте h_c не более $0,45m$ при глубине Δ , устанавливаемой в зависимости от условий работы колес, но не более $0,02 m$.

На рис. 3.23, а показано зацепление двух зубчатых колес с радиусами основных окружностей r_{b1} и r_{b2} , центры O_1 и

O_2 которых находятся на расстоянии $a_{12} = r_1 + r_2$.

Для образования в зубчатой передаче бокового зазора $f_n = j$ (ГОСТ 1643—81) толщину зубьев колес делают меньше теоретической $s = 0,5\pi m$ на величину Δs требуемого уменьшения толщины зуба колеса.

Толщина зубьев колес зависит от условий работы передачи ($s = 0,5\pi m - \Delta s$). Это должно учитываться при проектировании инструментов. Для стандартных зуборезных инструментов принимают усредненные значения изменения толщин зубьев инструментов, приведенные в соответствующих главах. При применении инструментов для образования зубьев без среза их профиля у окружности вершин (см. рис. 3.22, в) изменение толщины зубьев колес может быть осуществлено соответствующим изменением межосевого расстояния между инструментом и нарезаемой заготовкой.

Толщина зубьев инструмента по делительной окружности или по прямой должна быть равна ширине впадины нарезаемого колеса

$$s_0 = e_1 = p_1 - s_1. \quad (3.7)$$

Высота головки зуба инструмента равна высоте ножки зуба колеса $h_{a0} = h_{f1}$.

Поверхность вершин зубьев колеса зуборезными инструментами обычно не обрабатывают, поэтому высоту ножек зубьев инструмента h_{f0} делают больше высоты головок h_{a1} нарезаемого колеса на величину c_{10} радиального зазора; обычно принимают $c_{10} = c_{12}$.

Рабочая часть профиля зуба колеса зависит от длины g_a активной части линии зацепления (см. рис. 3.23, а) при зацеплении с парным колесом. Длина g_a ограничена окружностями выступов сопрягаемых колес. Граница рабочей части профиля зуба определяется расстоянием (радиусом) от центра колеса

$$r_{p12} = \sqrt{r_{b1}^2 + (a_{12} \sin \alpha_{12} - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2})^2}. \quad (3.8)$$

Радиус кривизны эвольвентного профиля зуба колеса в граничной точке

рабочего участка (в граничной точке линии зацепления)

$$\rho_{p12} = a_{12} \sin \alpha_{12} - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}, \quad (3.9)$$

где r_{a2} и r_{b2} — радиусы окружности вершин зубьев и основной окружности сопряженного колеса.

Контакт зубьев сопряженных колес происходит на рабочей части их профилей; точный эвольвентный участок профиля зубьев колеса должен перекрывать рабочий участок. Для этого необходимо, чтобы радиус окружности, проходящей через границу эвольвентной части профиля зуба (рис. 3.23, б), $r_{p10} < r_{p12}$.

Нерабочий участок профиля зуба может быть выполнен любой формы, но в процессе зацепления колес он не должен контактировать с вершиной зуба сопряженного колеса, поэтому в процессе зацепления он не должен пересекать траекторию вершины зуба сопряженного колеса.

При зацеплении двух колес вершина зуба сопряженного колеса перемещается во впадине рассматриваемого колеса по удлиненной эпициклоиде (рис. 3.24, а). Ее форма становится менее благоприятной при увеличении диаметральных размеров и числа зубьев сопряженного коле-

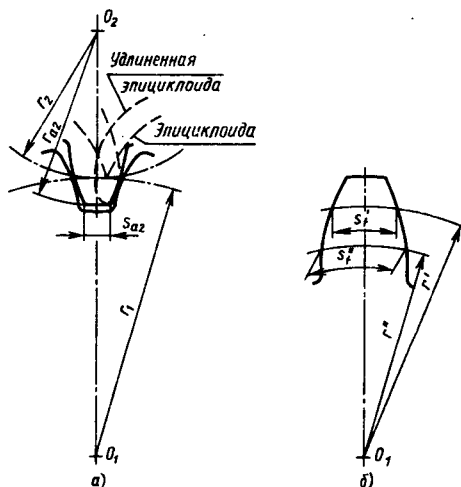


Рис. 3.24. Траектория вершины зуба сопряженного колеса (а) и определение толщины зуба (б)

са. При $z_2 = \infty$, т. е. при зацеплении с рейкой, траекторией точки вершины зуба сопряженного колеса является удлиненная эвольвента, в пределы которой не должна входить впадина нерабочего участка рассматриваемого колеса.

При расчетах зуборезных инструментов необходимо знать толщины s'_i зуба эвольвентной формы на окружности радиусом r'' (рис. 3.24, б), которую определяют по известной толщине зуба s'_i на окружности радиусом r' ,

$$s'_i = 2r'' \left[\frac{s'_i}{2r'} + \text{inv} \alpha' - \text{inv} \alpha'' \right], \quad (3.10)$$

где α' и α'' — соответственно углы профиля эвольвенты в точках с известной и искомой толщиной зуба, находящихся на расстоянии r' и r'' от центра.

Для повышения работоспособности инструментов и производительности процесса обработки зубьев режущую часть изготавливают из высококачественных быстрорежущих сталей, применяют износостойкие покрытия. Твердые сплавы и сверхтвердые материалы имеют пока ограниченное применение при изготовлении зуборезных инструментов. Для экономии материала зуборезные инструменты могут быть сборных и составных конструкций.

Требуемая высокая точность зубчатых колес зависит не только от точности зуборезного инструмента, но и от точности работы станка, состояния заготовок, и технологического процесса зубонарезания. Установленные нормы точности цилиндрических зубчатых передач (ГОСТ 1643—81) (кинематическая точность, плавность работы, контакт зубьев и боковой зазор) зависят от кинематики процесса, конструкции инструмента и условий его работы. Некоторые виды зуборезных инструментов оказывают незначительное влияние на нормы кинематической точности, но в большей степени влияют на другие нормы, например, на плавность работы, боковой зазор, а также на отклонение шага f_{prt} зубьев, погрешность профиля f_{fr} зубьев и некоторые другие.

Инструменты, применяемые для обработки зубьев колес, имеют большие различия по принципу работы, кинематике

рабочих движений, по конструкции. Применяют инструменты с продольно-поступательным (долбяки) и вращательным (фрезы) главным движением.

По виду рабочих движений инструмента и обрабатываемой заготовки зуборезные инструменты делят на две большие группы — инструменты, работающие по методу единичного деления, в основном с профилированием методом копирования, и инструменты, работающие по методу обката, в основном с профилированием способом огнивания. К первой группе относятся дисковые и пальцевые фрезы, дисковые шлифовальные круги, зубодолбежные головки и протяжки, ко второй группе (обкатные инструменты) — зубострогальные гребенки, червячные фрезы, долбяки, а для чистовой обработки шевьеры и некоторые виды шлифовальных кругов.

Зуборезные инструменты применяют для образования зубьев колес при наружном и внутреннем их расположении (относительно обода колеса), с прямыми, винтовыми и шевронными зубьями, с модулем $m = 0,1 \dots 100$ мм и наружным диаметром от 1 до тысяч миллиметров.

Зуборезные инструменты, работающие с профилированием методом копирования. Инструменты этой группы имеют фасонный профиль режущих кромок и образуют впадину зубьев колес методом копирования. Конструкции этих инструментов различны, но общим в их проектировании является определение профиля режущей кромки.

Профиль режущей кромки этих инструментов определяют в прямоугольной системе координат (рис. 3.25, а). Ось Y совпадает с осью симметрии впадины зубьев, начало координат находится на окружности впадин зубьев нарезаемого колеса. Определяем координаты произвольной точки M профиля режущей кромки, соответствующей точке профиля зубьев колеса, находящейся на окружности радиусом r_M :

$$x_M = r_M \sin \eta_M; \quad y_M = r_M \cos \eta_M - r_f, \quad (3.11)$$

где $\eta_M = \eta_1 + \theta_M - \theta_1$, здесь $\eta_1 = \tau/2 - \psi = \pi/z_1 - s_1/(2r_1)$, $\eta_M = \pi/z_1 - s_1/(2r_1) +$

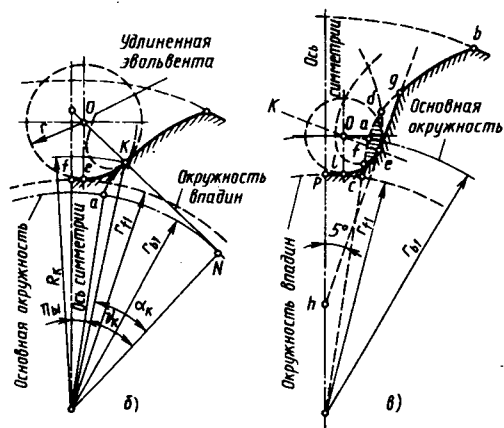
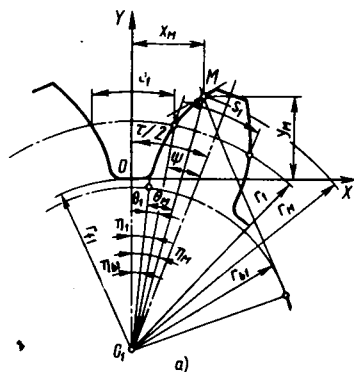


Рис. 3.25. Профиль режущей кромки зуборезного инструмента, работающего с профилированием методом копирования:

а — определение координат профиля; б и в — форма режущей кромки соответственно при $z_1 > 34$ и при $z_1 < 34$

$+\theta_M - \theta_1$ радиан, здесь τ — угловой шаг зубьев колеса; ψ — половина угловой толщины зуба по делительной окружности; η_1 — половина угловой ширины впадины по делительной окружности; θ_M , θ_1 — соответственно эвольвентный угол профиля в т. М зуба (3.1) и на делительной окружности.

По этим формулам может быть определен профиль режущей кромки, обрабатывающей профиль зуба колеса вне основной окружности (рис. 3.25, б). У колес с числом зубьев $z_1 < 34$ основная окружность выходит за пределы окружности впадин.

Участок режущей кромки для обработки впадины внутри основной окружности сле-

дует определять исходя из условия обеспечения отсутствия интерференции образованной впадины с вершиной зуба сопряженного колеса. Режущую кромку на этом участке делают прямолинейной, касательной к траектории вершины зуба сопряженного колеса при его зацеплении с нарезаемым, для которого предназначен проектируемый инструмент.

Для обеспечения правильного зацепления нарезанного колеса с колесами всех чисел зубьев этот участок eg (рис. 3.25, в) строят по касательной к удлиненной эвольвенте или эквидистанте к ней, т. е. траектории вершины зуба рейки. Прямолинейный участок образуют под углом 5° к оси симметрии режущей кромки для получения при радиальном направлении затылования достаточных задних углов. Такое построение профиля режущей кромки уменьшает высоту рабочей эвольвентной поверхности зуба нарезаемого колеса, срезая его у окружности впадин (участок fg).

Инструменты этого вида относят к инструментам специального назначения. Они пригодны для обработки колес определенных размеров с определенным числом зубьев. При серийном их изготовлении для уменьшения числа необходимых размеров их проектируют для обработки колес в определенном интервале чисел зубьев. Профиль рассчитывают по размерам впадины зубьев колеса с меньшим числом зубьев данного интервала.

Дисковые фрезы — фасонные с зубьями, затылованными в радиальном направлении (рис. 3.26, а, б). Зубья колеса обрабатывают последовательно с периодическим поворотом заготовки на угловой шаг зубьев после обработки каждой впадины. По конструкции и проектированию эти фрезы аналогичны описанным выше фасонным фрезам. Профили режущей кромки фрез для колес с числом зубьев $z_1 > 34$ (см. рис. 3.25, б) состоят из участков: эвольвентного bk , прямолинейного fe по наружной поверхности фрезы, сопряженных по дуге окружности ek , не выходящей в пределы указанной выше траектории вершины зуба сопряженного колеса. У фрез для обработки колес с меньшим числом зубьев ($z_1 < 34$, см. рис.

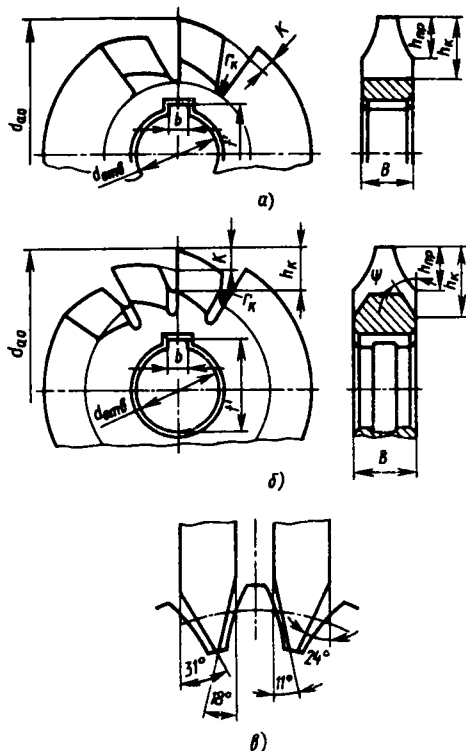


Рис. 3.26. Дисковая зуборезная фреза с прямой (а) и подфрезерованной по бокам (б) канавками; фрезы для черновой обработки с прямолинейным профилем режущих кромок (в)

3.25, в) профиль режущей кромки фрез имеет дополнительно прямолинейный участок eg , расположенный под углом 5° к перпендикуляру к оси фрезы.

Серийно фрезы изготавливают наборами из восьми (А) или 15 (Б) штук каждого модуля. Фрезы набора обозначают номерами, они имеют различную форму профиля режущих кромок в зависимости от числа зубьев колеса, для обработки которых предназначены (табл. 3.1).

Диаметральные размеры фрез зависят от высоты зубьев колеса, т. е. от модуля, ширина фрез — от ширины впадины у окружности вершин зубьев колеса; последняя зависит от кривизны профиля зубьев (числа зубьев колеса, модуля и угла профиля). На рис. 3.25, в приведен профиль зубьев фрез № 1—5 $\frac{1}{2}$, а на рис. 3.25, б — фрез № 6—8.

Дисковые зуборезные фрезы изготавливают цельными $m=1...16$ мм, диаметром $d_{a0}=50...180$ мм с затылованными зубьями $z_0=14...10$; сборные — с острозаточенными разнонаправленными зубьями $m=8...30$ мм, диаметром $d_{a0}=180...290$ мм.

Из-за неточности профиля режущих кромок, возможной неточности установки фрезы относительно нарезаемой заготовки и несовершенства делительных механизмов, обеспечивающих поворот заготовки на угловой шаг при обработке колеса, при переходе от одной впадины к следующей эти фрезы не обеспечивают высокой точности нарезанных колес. Их применяют при изготовлении колес невысокой точности в единичном и мелкосерийном производстве.

Черновые фрезы, оснащенные пластинами из твердого сплава, делают с прямолинейным профилем режущих кромок (рис. 3.26, в). Для уменьшения отклонений получаемого профиля от эвольвентного и, следовательно, для уменьшения припуска, остающегося на чистовую обработку, эти фрезы делают в комплекте из двух штук и иногда с чередующимися зубьями. Углы профиля режущих кромок всех фрез с правой и левой сторон зубьев принимают разные, обеспечивая меньшие отклонения получаемого профиля зубьев колеса от эвольвентного. Профили зубьев фрез для обработки колеса с числом зубьев

3.1. Назначение дисковых зуборезных фрез в наборе из 8(А) и 15(Б) фрез

№ фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса в наборе	
	А	Б
1	12—13	12
1 $\frac{1}{2}$	—	13
2	14—16	14
2 $\frac{1}{2}$	—	15—16
3	17—20	17—18
3 $\frac{1}{2}$	—	19—20
4	21—25	21—22
4 $\frac{1}{2}$	—	23—25
5	26—34	26—29
5 $\frac{1}{2}$	—	30—34
6	35—54	35—41
6 $\frac{1}{2}$	—	42—54
7	55—134	55—79
7 $\frac{1}{2}$	—	80—134
8	135 и более	135 и более

$z_1=27$ и углом профиля $\alpha=20^\circ$ приведены на рис. 3.26, в.

Пальцевые фрезы (рис. 3.27, а) по конструкции аналогичны концевым фрезам с фасонным профилем режущих кромок. При работе ось фрезы совмещается с осью симметрии впадин зубьев нарезаемого колеса. Относительно нее осуществляется главное вращательное движение зубьев фрезы. Фрезы крепят с помощью резьбового соединения, базируют по точно выполненному цилиндрическому отверстию (пояску) на посадочной части шпинделя станка. По сравнению с дисковыми фрезами для обработки зубьев колес одинакового размера пальцевые фрезы имеют значительно меньшие габаритные размеры и размеры рабочей части.

Диаметральные размеры рабочей части фрезы определяются размерами впадины зубьев колеса. Из-за сравнительно малых диаметральных размеров (ширины впадины зубьев колеса) число зубьев этих фрез небольшое (четыре — восемь). Из-за большого изменения диаметра фрезы по высоте ее рабочей части, особенно у фрез для колес с малым числом зубьев, значительно изменяются окружной шаг зубьев и толщина зубьев при постоянной ширине стружечной канавки.

Направление образования задних углов, т. е. направление затылования (рис. 3.27, б), влияет на степень изменения нормальных задних углов и диаметральных размеров режущей части при переточках фрезы. При образовании задних углов

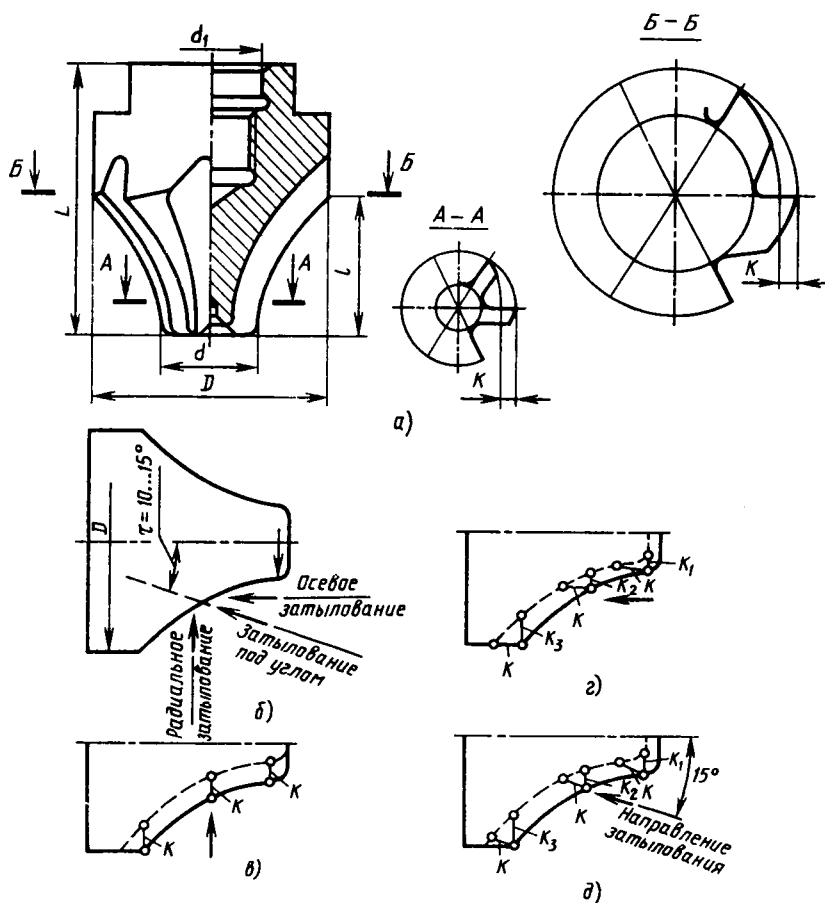


Рис. 3.27. Пальцевая фреза (а) и направления образования ее задних поверхностей (б—д)

в радиальном направлении (при затыловании в направлении, перпендикулярном к оси фрезы) (рис. 3.27, в) при переточках фрезы получают большие изменения толщины зубьев колеса. Они не могут быть компенсированы перемещением фрезы вдоль ее оси, так как при этом получают большие искажения профиля зубьев колеса. Компенсация изменения диаметральных размеров рабочей части фрезы при ее переточках возможна у

фрез с осевым направлением затылования за счет увеличения высоты впадины, но при этом методе затылования получают малые значения нормальных задних углов на участках режущих кромок, обрабатывающих профиль зубьев у окружности впадин.

Для получения достаточных нормальных задних углов и минимальных отклонений формы и размеров зубьев при переточках фрезы затылование производят под

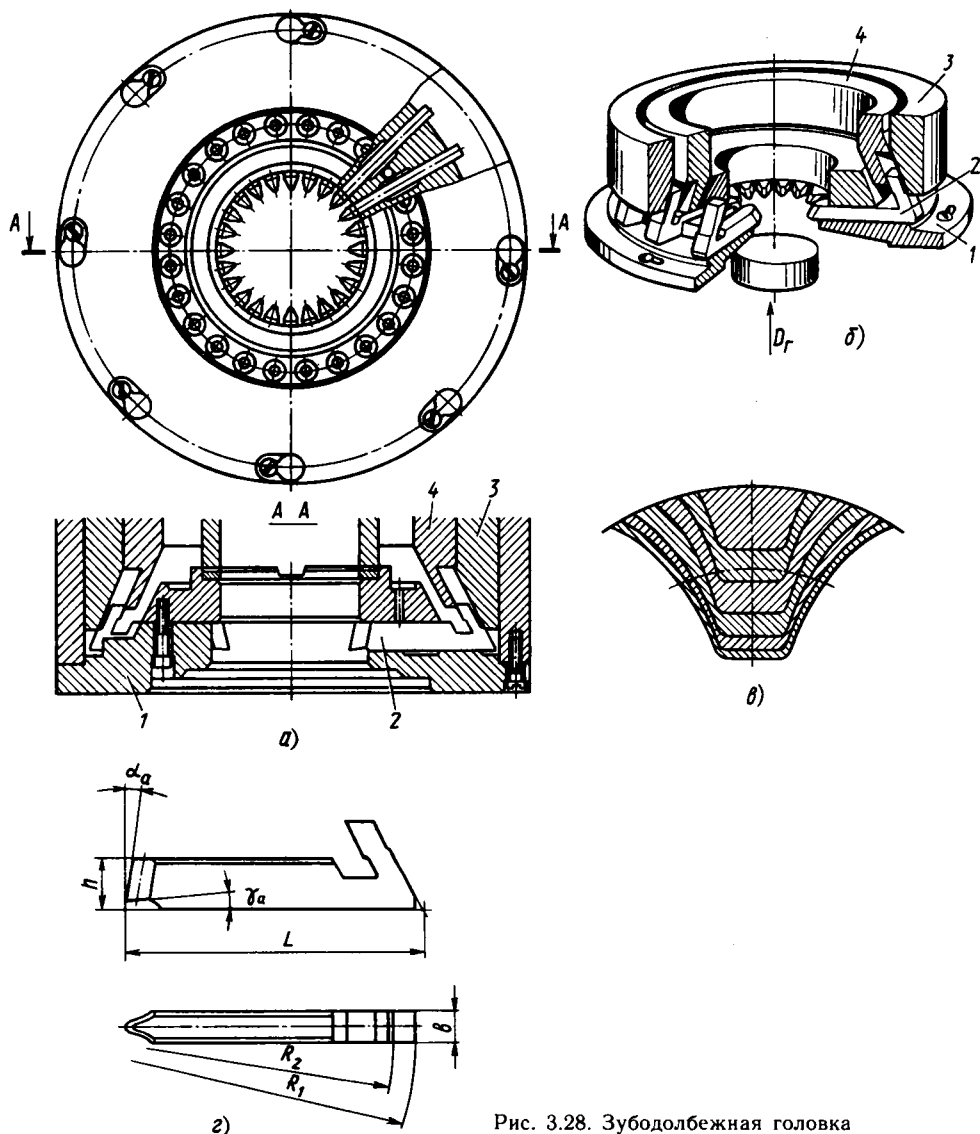


Рис. 3.28. Зубодолбежная головка

углом 15° к оси фрезы (рис. 3.27, д).

Пальцевые фрезы применяют для нарезания колес $m=10\text{--}50$ мм с прямыми, винтовыми и шевронными зубьями.

Зубодолбежными головками одновременно по контуру обрабатывают все впадины зубьев колеса (рис. 3.28, а) резцами с фасонным профилем режущих кромок, соответствующем профилю впадин обрабатываемого колеса. Резцы 2 размещены в прямоугольных пазах корпуса 1 головки. Головки закреплены на станке неподвижно, а главное рабочее движение совершает заготовка в направлении ее оси (рис. 3.28, б). Резцы 2 периодически перемещаются в радиальном направлении перед каждым рабочим ходом. Подача на глубину (рис. 3.28, в) осуществляется под действием конусов 3 и 4 станка на наклонные хвостовики резцов (рис. 3.28, г); перед обратным ходом резцы немного отводят. Время обработки зависит от высоты зубьев (впадины) и не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса.

Зубодолбежные головки — инструмент специального назначения, каждую головку проектируют для обработки определенного колеса.

Протяжки применяют для обработки колес внутреннего и наружного профиля. Протяжки для колес внутреннего профиля аналогичны шлицевым протяжкам с фасонным эвольвентным профилем режущих кромок. Протяжки для обработки колес наружного профиля могут быть однопрофильные, секторного и охватывающего типов. Протяжки однопрофильного типа предназначают для последовательной обработки впадины с поворотом заготовки (делением) на угловой шаг (рис. 3.29, а). Применяют протяжки прямолинейной (типа шпоночных) или дисковой конструкции. Протяжки секторного типа (рис. 3.29, б) аналогичны наружным протяжкам с соответствующим профилем режущих кромок. Ими обрабатывают группу зубьев колеса; для обработки следующей группы зубьев необходим поворот заготовки. Протяжки охватывающего типа могут быть разных конструктивных выполнений.

У сборной протяжки (рис. 3.29, в) в корпусе в виде трубы установлены

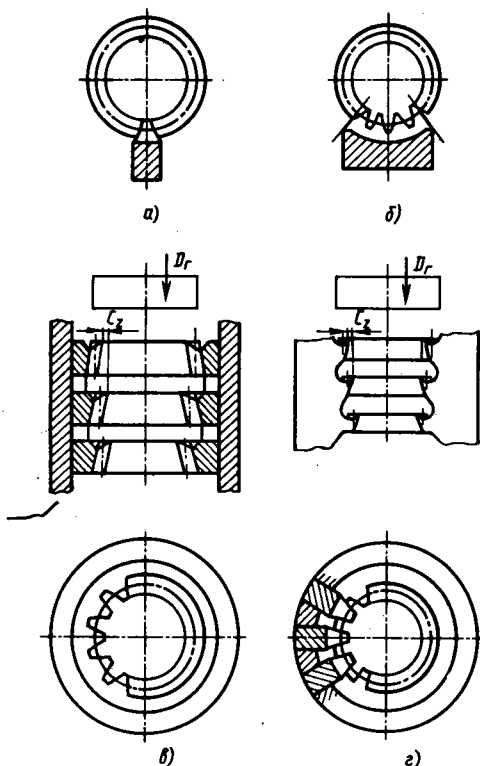


Рис. 3.29. Протяжки для обработки зубчатых колес

кольца с внутренними режущими зубьями эвольвентного профиля, соответствующего профилям впадин зубьев нарезаемых колес. Высота зубьев в кольцах, расположенных по длине протяжки, изменяется для создания подъема на зуб. У протяжек другого вида (рис. 3.29, г) в продольных внутренних пазах корпуса установлены режущие секции, аналогичные рабочей части шпоночных протяжек с профилем, соответствующим впадинам зубьев обработанного колеса. В обоих видах протяжек рабочее движение резания сообщается заготовке.

Для чистовой обработки предварительно образованных зубьев колес применяют *шлифовальные круги* дисковой формы с рабочим профилем, соответствующим профилю впадины зубьев колеса. Профиль образуется при фасонной правке круга алмазом на специальных приспособлениях,

обеспечивающих теоретическую эвольвентную форму, с помощью копирных приспособлений по шаблонам или путем замены эвольвентного профиля дугами окружности.

Обкатные зуборезные инструменты. Особенностью кинематики и работы обкатных инструментов является наличие сложного обкатного движения режущих кромок инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки. Это движение создает непрерывное изменение положения инструментальной поверхности, образуемой режущими кромками инструмента в процессе главного движения, относительно обрабатываемой поверхности заготовки.

Главное движение D_r режущих кромок инструмента может быть продольно-поступательное и вращательное (рис. 3.30). Движение обката D_w обычно создается в направлении, перпендикулярном к вектору скорости v главного движения или близком к нему.

Движение обката D_w процесса обработки образует сложное перемещение инструментальной поверхности (поверхности, образуемой режущими кромками в результирующем движении D_e резания) относительно обрабатываемой поверхности заготовки. Движение обката D_w процесса

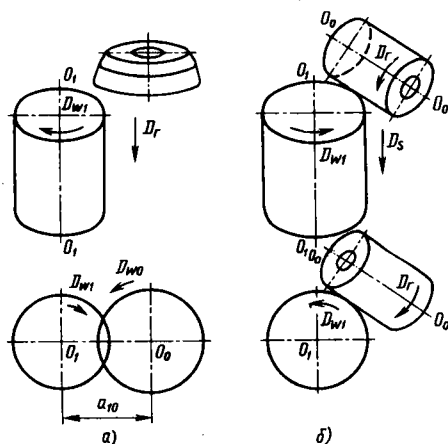


Рис. 3.30. Движения заготовки и обкатного инструмента при параллельных (а) и пересекающихся (б) осях

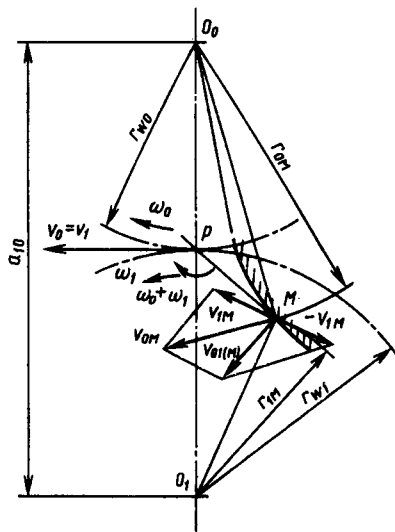


Рис. 3.31. Скорость точки режущей кромки в обкатном движении и ее составляющие

обработки образуется как результат перемещения режущих кромок инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки. При этом инструмент и заготовка вращаются вокруг своих осей (движения D_{w0} и D_{w1}), взаимное положение которых может быть параллельным, пересекающимся и перекрещивающимся; их положение влияет на конструкцию инструмента.

При наиболее простом виде обработки методом обката инструмент и заготовка совершают согласованное вращательное движение вокруг параллельных осей (рис. 3.30, а), расстояние между которыми a_{10} . Характер движения обката определяется угловыми скоростями инструмента ω_0 и заготовки ω_1 (рис. 3.31).

Кинематику движений режущей кромки и обрабатываемой заготовки рассматриваем в плоскости, перпендикулярной к осям.

При движении обката в точке М (точке обработки) скорости режущей кромки v_{0M} и заготовки v_{1M} равны: $v_{0M} = r_{0M} \omega_0$, $v_{1M} = r_{1M} \omega_1$, где ω_0 и ω_1 — угловые скорости вращательных движений инструмента и заготовки.

На межцентровой линии O_0O_1 имеется точка Р (полюс профилирования), в кото-

рой $v_0 = v_1$. Окружности с центрами O_0 и O_1 , проходящие через эту точку, в процессе движения обката перекатываются друг по другу без скольжения. Они являются центроидами — начальными окружностями, их радиусы r_{w0} и r_{w1} , причем $r_{w1}/r_{w0} = \omega_0/\omega_1$.

В результате движения обката режущая кромка инструмента относительно обрабатываемой поверхности поворачивается вокруг полюса P [40]. Скорость перемещения точки M режущей кромки относительно заготовки

$$v_{01(M)} = l_M(\omega_0 + \omega_1), \quad (3.12)$$

где l_M — радиус-вектор точки M относительно полюса P , $l_M = PM$, и направлена перпендикулярно к вектору PM .

Скорость $v_{01(M)}$, определяющая скорость перемещений режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности заготовки, может быть определена за один оборот или за один двойной ход инструмента, или в единицу времени. Она определяет скорость подачи v_s режущей кромки в тело детали, т. е. перемещение режущей кромки за один цикл обработки, например, между двумя последующими зубьями. Так же как и других режущих инструментов, главное движение D_r инструмента и движение подачи D_s образуют результирующее движение резания D_e .

Подача S и направление ее скорости v_s изменяются по длине режущей кромки и в каждой ее точке в процессе обката (рис. 3.32, а). Угол Φ , образуемый между направлением движения подачи и касательной к режущей кромке, аналогичен главному углу в плане ϕ других видов режущих инструментов. Угол Φ влияет на условия процесса резания, поэтому назовем его углом в плане Φ_M для данной точки M режущей кромки. Угол Φ_M изменится как по длине режущей кромки в каждом ее положении, так и для каждой ее точки в процессе обкатной обработки*.

Разложим скорость подачи v_s на два направления: по касательной к кромке v_{skacM} и по нормали к ней v_{snM} :

$$v_{snM} = v_{sM} \sin \Phi_M; \quad v_{skacM} = v_{sM} \cos \Phi_M. \quad (3.13)$$

Направление и соотношение этих скоростей показывают характер воздействия ре-

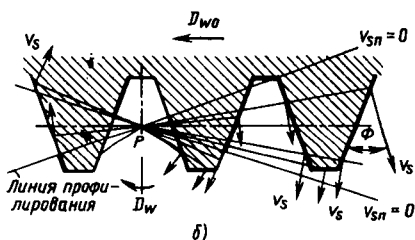
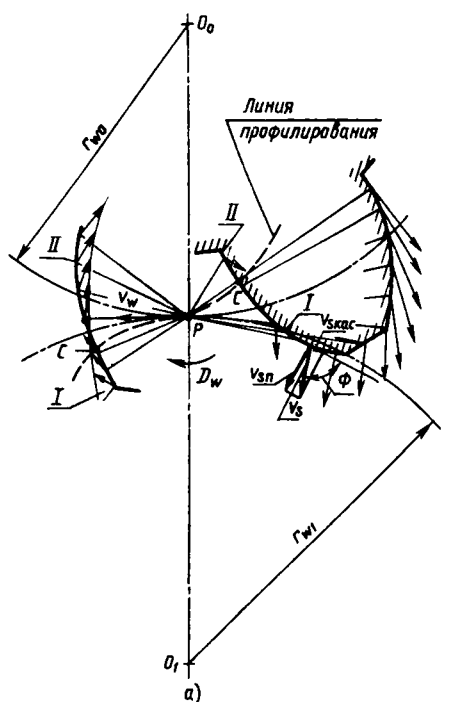


Рис. 3.32. Изменение скорости подачи по длине режущей кромки в процессе обработки методом обката при криволинейной (а) и трапецидальной (б) формах режущей кромки

* На лезвиях многих обкатных инструментов $\gamma = 0$ и $\lambda = 0$ (или имеют небольшие значения), нормальная плоскость P_n перпендикулярна (или может быть принята перпендикулярной) основной инструментальной плоскости P_{0n} и направлению скорости подачи v_s точки режущей кромки. Составляющие v_{sn} и v_{skac} скорости подачи расположены в рассматриваемой плоскости, перпендикулярной к осям инструмента и заготовки, а нормальные углы α_n и γ_n являются главными инструментальными углами α_n и γ_n .

жушей кромки на обрабатываемую поверхность заготовки. Если нормальная составляющая скорости подачи v_{sn} направлена из тела инструмента в тело заготовки, то режущая кромка в рассматриваемой точке перемещается в тело заготовки. Ее перемещение между двумя последовательными резами определяет форму и толщину срезаемого слоя. Значение нормальной составляющей v_{sn} изменяется по длине режущей кромки в зависимости от формы последней и ее положения относительно полюса профилирования P (рис. 3.32, а). В некоторой точке C режущей кромки $v_{sn}=0$. В этой точке нормаль к профилю режущей кромки проходит через полюс P , угол в плане $\varphi=0$. Режущая кромка в точке C не углубляется в тело заготовки, а производит ее окончательную обработку (профилирование, т. е. формообразование поверхности заготовки). Эта точка режущей кромки приобретает свойства ее вершины. В ней изменяется направление нормальной составляющей скорости подачи v_{sn} относительно режущей кромки.

На режущей кромке образуются характерные участки и точки: участок I , углубляющийся в тело заготовки (при $v_{sn}>0$), производит срезание стружки и является главной частью режущей кромки; участок II , отходящий от поверхности заготовки (при $v_{sn}<0$), соответствует вспомогательной части режущей кромки; между ними точка C — вершина режущей кромки, в которой $v_{sn}=0$, в этой точке окончательно обрабатывается поверхность (профиль) заготовки; вершина режущей кромки образуется в результате движения обката. Обкатной инструмент конструктивно безвершинный; у всех других режущих инструментов вершина режущей кромки определяется конструкцией инструмента, и в процессе обработки ее положение на режущей кромке сохраняется.

Нормальная составляющая v_{sn} скорости подачи за один цикл обработки (ход, зуб) определяет толщину a срезаемого слоя.

Касательная составляющая скорости движения подачи точек режущей кромки $v_{скас}$, направленная по касательной к пос-

ледней в рассматриваемой точке режущей кромки, обеспечивает смену (перемещение) контактирующих с заготовкой участков режущей кромки, в том числе и перемещение по режущей кромке, образующейся в процессе обкатного движения ее вершины. Значение $v_{скас}$ также изменяется в процессе обкатки по длине режущей кромки.

Геометрическое место точек последовательных положений вершин режущей кромки, рассматриваемое в неподвижном пространстве, связанном с осями O_0 и O_1 , образует линию профилирования. Она определяется точками пересечения профиля режущей кромки (или требуемого профиля детали) с нормальными, проходящими через полюс профилирования P при перемещении профиля в движении обката. Точки линии профилирования определяют на режущей кромке в каждом ее положении главную и вспомогательную части кромки. Их взаимное положение зависит от направления движения обката.

Для эвольвентного профиля режущей кромки (или требуемого профиля заготовки) линия профилирования — прямая, проходящая через полюс касательно к основным окружностям профилей и перпендикулярно к сторонам профиля рейки (исходного контура). Изменение значения и направления v_s скорости подачи точек режущей кромки реечного обкатного инструмента приведена на рис. 3.32, б. Жирной линией показаны главные части режущей кромки инструмента типа рейки с прямолинейным профилем режущих кромок при указанном направлении обкатного движения.

Для изучения условий работы режущей кромки рассмотрим ее перемещение относительно неподвижной заготовки (рис. 3.33). Остановим движение обката заготовки и сообщим суммарное обкатное перемещение только инструменту. При этом центроида инструмента будет перекачиваться без скольжения по неподвижной центроиде заготовки.

Рассмотрим последовательности удаления припуска и формирование поверхности обкатным инструментом. Заготовка, радиус наружной окружности (окружно-

сти вершин) которой r_{a1} (рис. 3.33, а) обрабатывается инструментом с трапецидальным профилем режущей кромки и прямолинейной центроидой (рис. 3.33, б). Радиус начальной окружности заготовки r_{w1} . Для построения схемы последовательности обработки (качения без скольжения центроиды инструмента по центроиде заготовки) отложим по центроидам заданного профиля режущей кромки инструмента равные отрезки и по центроиде заготовки равные им дуги, т. е. $a_1a_2 = a_2a_3 = \dots = b_1b_2 = b_2b_3 = \dots$. Совмещая последовательно одноименные точки а и б, обеспечив касание и качение центроид, получим последовательность образования профиля заготовки; при построении профиля заготовки нормали к начальной прямой совмещаем с одноименными радиусами начальной окружности.

В положении VII (рис. 3.33, в, начальное положение обработки) режущая кромка касается наружной поверхности заготовки. При перемещении режущей кромки в положение VI и т. д. происходит предварительное удаление припуска, при перемещении в положение IV и т. д. — окончательное образование правой части профиля впадины.

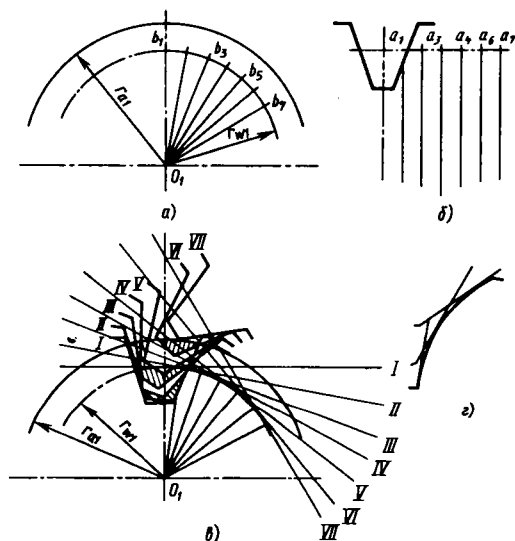


Рис. 3.33. Образование впадины заготовки методом огибания при обработке методом обката

Площадь между последовательными положениями режущих кромок при их перемещении на долю цикла обработки, например на один зуб инструмента или на один рабочих ход, определяет сечение срезаемого слоя. При этом поверхность заготовки образуется в результате огибания ее последовательными положениями режущей кромки (рис. 3.33, г). Такой способ образования поверхности заготовки называют профилированием методом огибания. Он является наиболее распространенным при обработке методом обката.

Если в процессе обработки прекратить движение обката, то обработанная поверхность образуется последним положением режущей кромки. Получается обработка с профилированием методом копирования или смешанным методом копирования и огибания, если часть профиля уже будет образована с профилированием методом огибания.

Переход точки профилирования из одного положения в последующее по образуемому профилю заготовки определяется значением $v_{\text{скас.}}$. Обработанная поверхность заготовки образуется последовательными резами с перерывами, из-за чего на ней получается огранка.

Лезвийные обкатные инструменты работают при периодическом воздействии режущих кромок инструмента на образуемую поверхность заготовки. В результате образуется прерывистая поверхность заготовки и на ней возникают огранка и волнистость.

Движения обката создают соответствующей настройкой кинематики станка (рис. 3.34, а). Каждый зуб (режущая кромка) инструмента, перемещаясь по центроиде радиусом r_{w0} , последовательно выполняет все стадии процесса обработки: вначале контакта с заготовкой производит черновую обработку, удаляет материал из впадины заготовки (положения 1—2); затем по мере продвижения по центроиде режущая кромка начинает окончательно обрабатывать зуб заготовки, т. е. начинается стадия профилирования (положение 2). Продвигаясь дальше по центроиде, режущая кромка полностью образует профиль зуба колеса (положе-

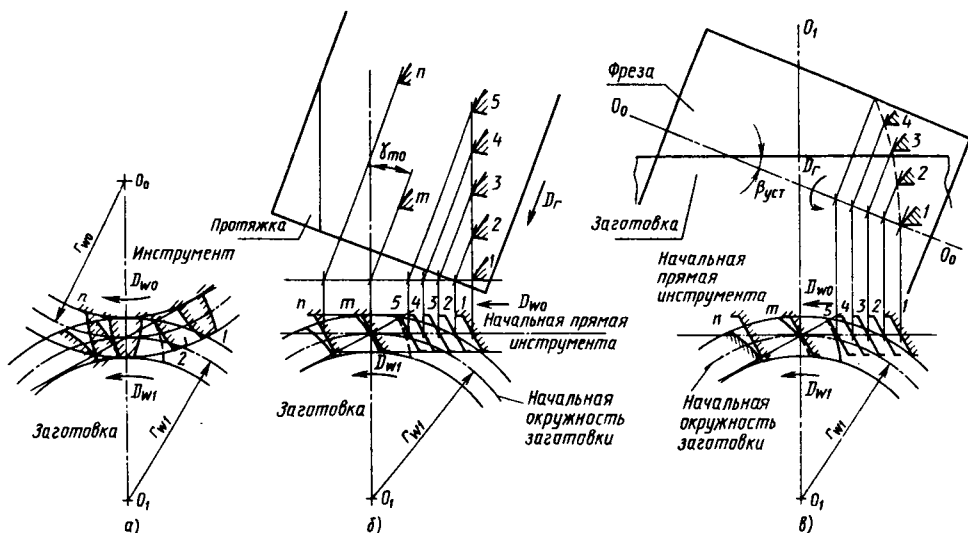


Рис. 3.34. Способы образования движения обката инструмента

ния 2—4), в положении n прекращается ее контакт с образованным зубом. Каждый зуб инструмента, его режущая кромка, обрабатывает одну определенную впадину и работает индивидуально. Инструмент может быть как однозубый и тогда необходим процесс деления (поворота заготовки на угловой шаг после обработки одной впадины), так и многозубым. При многозубом инструменте переход обработки от одной впадины к следующей совершается непрерывно и является результатом движения обката, при этом одновременно обрабатывается несколько впадин. Такой принцип работы обкатного инструмента называют станочным обкатным движением. По этому принципу работают гребенки и долбки.

Применяют и другой принцип создания движения обката инструмента. Он может быть использован только при многозубых инструментах. Необходимое смещение режущих кромок по центриде обеспечивается конструкцией инструмента. Рассмотрим этот способ обработки методом обката на примере протяжки (рис. 3.34, б). Протяжка с режущими кромками трапецидальной формы, соответствующей зубьям исходного контура, совершает главное движение D_r под углом $\gamma_{то}$

к оси заготовки. Режущие кромки зубьев протяжки вступают в контакт с обрабатываемой заготовкой по мере перемещения протяжки в направлении главного движения в смещенных положениях по длине центриды обработки инструмента (т. е. по длине начальной прямой в направлении движения D_{wo}). Они удаляют материал из впадины, производят черновую обработку (зубья и положения 1—4), следующие зубья 5 и т. д. до n окончательно образуют профиль зуба заготовки. Такое смещение последовательно работающих режущих кромок аналогично их перемещению в обкатном движении, приведенном на рис. 3.34, а.

В процессе обработки заготовка вращается вокруг своей оси со скоростью v_{w1} на центриде начальной окружности радиусом r_{w1} , равной скорости v_{wo} перемещения режущих кромок по их центриде (начальной прямой). Этот способ образования движения обката называют конструктивным движением обката. Червячные фрезы, работающие по этому принципу с вращательным главным движением, приведены на рис. 3.34, в. Режущие кромки расположены на винтовой поверхности. При работе ось фрезы O_0O_0 устанавливается под углом $\beta_{уст}$ к торцу нарезае-

мого колеса. При вращательном главном движении зубья фрезы последовательно входят в контакт с обрабатываемой заготовкой, режущие кромки смещены вдоль центровды (начальной прямой).

При конструктивном движении обката каждая режущая кромка инструмента, перемещаясь по неизменным траекториям относительно осей инструмента и заготовки, работает в постоянных условиях контакта с заготовкой, одинаково воздействуя на нее. Отдельные режущие кромки производят одну и ту же определенную работу в течение всего процесса обработки заготовки: одни зубья производят черновую обработку, предварительно удаляя материал из впадины, другие — окончательную обработку (профилирование). Режущие кромки по выполняемой работе разделены на кромки черновые и чистовые (профилирующие), поэтому им могут быть приданы оптимальные форма и геометрия. Движение обката заготовки в обоих случаях обеспечивает кинематика станка.

Геометрические параметры обкатных инструментов зависят от конструкции инструмента. В результате изменения скорости и направления результирующего движения резания (влияние изменения скорости движения подачи точки режущей кромки) и формы режущей кромки кинематические геометрические параметры в процессе обработки и по длине режущей кромки значительно изменяются по величине и направлению. Это необходимо учитывать при проектировании.

При проектировании режущих инструментов одной из основных задач является обеспечение получения заданной поверхности (профиля) детали. Режущие кромки обкатного инструмента, работающего с профилированием методом огибания, должны находиться на образующей (инструментальной) поверхности инструмента, сопряженной с поверхностью (профилем) детали. Порядок определения формы профиля режущих кромок (профилирование) приведен для конкретных видов инструментов.

Зубострогальные гребенки. Гребенки — самый простой по конструкции обкатной инструмент в виде зубчатой рейки для

нарезания зубчатых колес. Обкатное движение образуется кинематикой станка. В процессе обработки гребенки совершает главное движение D_r по направлению боковых поверхностей образуемого зуба, при обработке прямозубого колеса главное движение параллельно оси и при обработке колес с винтовым зубом D_r наклонно к ней (рис. 3.35). Одновременно с главным движением происходит движение D_w обката гребенки и заготовки: гребенки — продольно-поступательное по направлению ее средней линии, заготовки — вращательное. При этом начальная окружность заготовки колеса катится без скольжения по начальной прямой рейки (гребенки). Профиль зубьев колеса образуется огибанием его зубьями гребенки при совершении движений главного D_r и обката D_w . Для нарезания всех зубьев колеса длина гребенки должна быть больше длины начальной окружности колеса. Если применяют короткие гребенки, то после образования одной или нескольких впадин гребенку вне зоны контакта с заготовкой возвращают в исходное положение без поворота заготовки и обрабатывают следующую впадину или несколько впадин колеса.

Гребенка представляет собой рейку с передними γ_a и задними α_a углами (рис. 3.35, б). Для нарезания прямозубых колес зубья гребенки в инструментальной системе координат расположены в плоскостях, перпендикулярных к опорным поверхностям гребенки, для косозубых и шевронных колес — в наклонных плоскостях.

Гребенки, так же как и все зуборезные инструменты, имеют на каждом зубе по три режущих кромки: одну на вершине зуба и две боковые. В проекции на торцовую плоскость заготовки в статической системе координат размеры зубьев гребенки соответствуют размерам зубьев инструментальной рейки с некоторым превышением исходного контура по высоте зуба: $p_0 = p_1 = \pi m$; $s_0 = e_1 = p_1 - s_1$; $\alpha_0 = \alpha_1$; $h'_{a0} = h_{f1}$; $h_{f0}' = h_{a1} + c_{10}$.

Для образования задних углов задние поверхности зубьев смещаются под углом α_a к вектору скорости главного движения, передняя поверхность в процессе работы расположена наклонно под углом γ_a .

углы увеличиваются на $11\text{--}12^\circ$, статические передние углы получаются равными $13\text{--}15^\circ$. Размеры зуба гребенки для нарезания колес без среза их зубьев у окружности выступов приведены на рис. 3.36, а, со срезом профиля — на рис. 3.36, г.

Для предварительного нарезания зубьев колес под последующую обработку гребенкой или шлифование зубья гребенки делают с увеличенной на Δh высотой

головки и с уменьшенной на Δs толщиной зуба (рис. 3.36, д):

$$\Delta h = c_1 \sqrt{m}; \quad \Delta s = c_2 \sqrt{m},$$

где $c_1 = 0,1 \dots 0,2$; для черновых гребенок $c_2 = 0,4$, для обработки под шлифование $c_2 = 0,2$.

Размеры режущей кромки при неизменной форме задней поверхности зубьев можно изменить фасонной формой передней

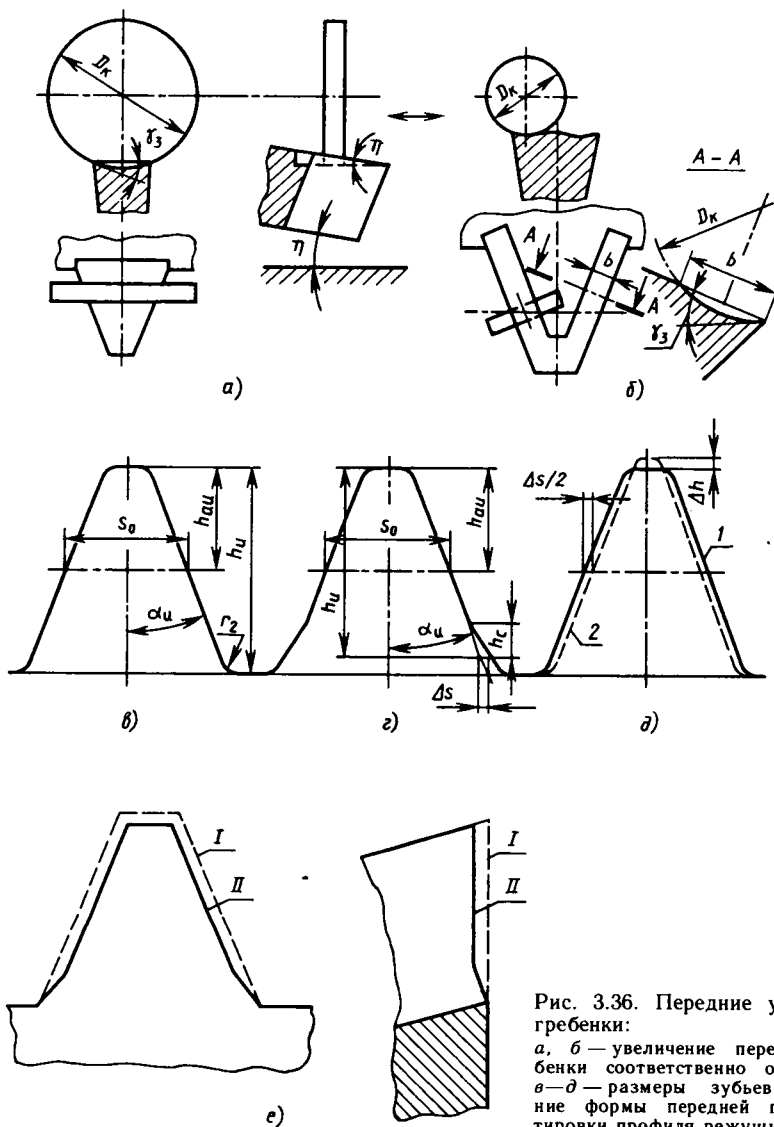


Рис. 3.36. Передние углы и размеры зубьев гребенки:

а, б — увеличение передних углов зубьев гребенки соответственно одной и двумя лунками; в — г — размеры зубьев гребенки; д — изменение формы передней поверхности для корректировки профиля режущих кромок

поверхности (ступенчатой или криволинейной, рис. 3.36, е). Форма и размеры режущей кромки на передней поверхности II из-за наличия задних углов изменяются по сравнению с первоначальными по поверхности I. Изменением формы передней поверхности путем заточки можно обеспечить коррекцию, т. е. изменить форму профиля режущей кромки гребенки при неизменной форме ее задних поверхностей. Этот метод может быть применен и у других зуборезных инструментов, и у фасонных инструментов с затылованными задними поверхностями. Это простой способ корректирования в небольших пределах размеров и формы режущих кромок.

Режущую часть гребенки изготавливают из быстрорежущей стали, державочная часть — из конструкционной; соединяют их сваркой. Зубострогальные гребенки для колес с винтовыми и шевронными зубьями имеют наклонные зубья в соответствии с углами наклона зубьев нарезаемых колес [42, 45].

Зуборезные долбяки. Зуборезные долбяки применяют для нарезания зубчатых колес с наружными и внутренними, с прямыми, винтовыми зубьями и с наружными шевронными зубьями. Долбяки имеют вид зубчатого колеса с изменяющимся по длине зуба, смещением исходного контура (высотной коррекцией); контур торца зубчатого венца является режущей кромкой. Долбяки работают по принципу обката. Изменение высотной коррекции по длине зубьев долбяка обеспечивает образование задних углов на лезвиях зубьев. Долбяки образуют зубья колеса методом огибания; профиль их зубьев (образующий инструментальную поверхность) является сопряженным к профилю зубьев нарезаемого колеса; для обработки колес с эвольвентными зубьями он тоже имеет эвольвентную форму.

В процессе обработки ось долбяка параллельна оси заготовки (рис. 3.37, а). Долбяк совершает возвратно-поступательное движение параллельно оси нарезаемой заготовки — главное движение D_r . Кроме того, долбяк и заготовка вращаются вокруг своих осей, обеспечивая движения обката D_{w1} и D_{w0} , которое образует движе-

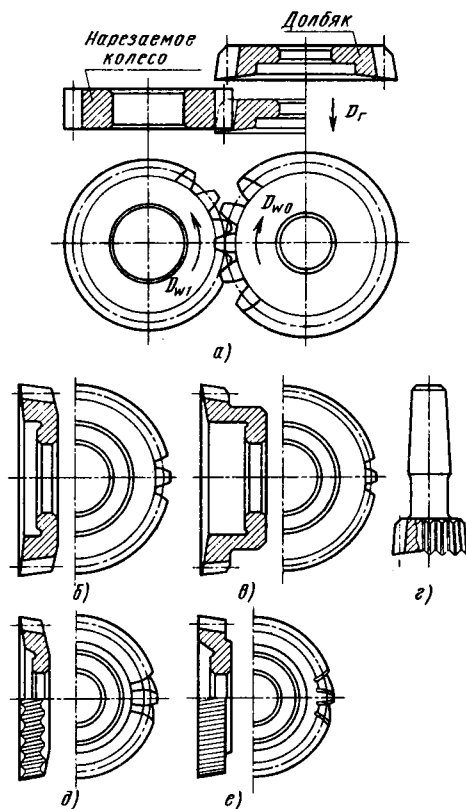


Рис. 3.37. Схема работы (а) и типы (б—е) зуборезных долбяков

ние подачи режущих кромок относительно обрабатываемой заготовки. Главное движение и движение обката создают результирующее движение D_e , обеспечивающее резание и профилирование.

В начальном положении обработки зубья долбяка (окружность вершин зубьев) находятся за пределами наружного цилиндра заготовки. В процессе обработки при непрерывном движении обката производится сближение осей долбяка и заготовки (радиальная подача), углубление зубьев долбяка в заготовку до получения требуемых размеров зубьев нарезаемого колеса. Процесс резания и профилирования прерывистый, поэтому профиль обработанных зубьев получается с огранкой в поперечном направлении. Однако ввиду независимости скоростей главного

движения (v) и движения обката (v_w) огранка может быть уменьшена и практически отклонения получаются незначительными.

Размеры зубьев долбяка зависят от исходного инструментального контура (рейки), который занимает изменяемое положение по длине зубьев долбяка с различным его смещением. На рис. 3.38 показаны три сечения зуба долбяка и соответствующие им положения исходного контура. Сечение $I-I$ находится в плоскости переднего торца, сечение $III-III$ — в плоскости, близкой к опорному торцу, сечение $II-II$, в котором коэффициент смещения исходного контура $x=0$, называют исходным или расчетным; оно обычно расположено между сечениями I и III .

Во всех сечениях начальная прямая рейки перекачивается по делительной окружности долбяка. Полус P (рис. 3.38, б) находится на делительной окружности. В сечении $I-I$ смещение положительно ($x>0$), средняя линия рейки (Ср. л.) отстоит от делительной окружности дол-

бяка и не совпадает с начальной прямой (Нач. пр.). Линия профилирования (Л. п.) перпендикулярна к профилю зубьев рейки и проходят через полюс P ; ее положение во всех сечениях совпадает. Точки пересечения линии профилирования с профилем исходного инструментального контура (с профилем боковых сторон рейки) определяют точки контакта профиля режущих кромок зубьев долбяка с профилем рейки в момент окончательного образования зубьев (точки профилирования).

В сечении $II-II$ коэффициент смещения $x=0$ (рис. 3.38, в), средняя линия инструментальной рейки совпадает с начальной прямой и перекачивается в процессе образования профиля зубьев долбяка по его делительной окружности.

Толщина зуба s'_0 долбяка по дуге делительной окружности в сечении $I-I$ увеличивается по сравнению с толщиной зуба s''_0 в сечении $II-II$ (рис. 3.38, д), а толщина зуба по окружности вершин уменьшается по сравнению с толщиной s'''_0 в сечении $III-III$ (рис. 3.38, е).

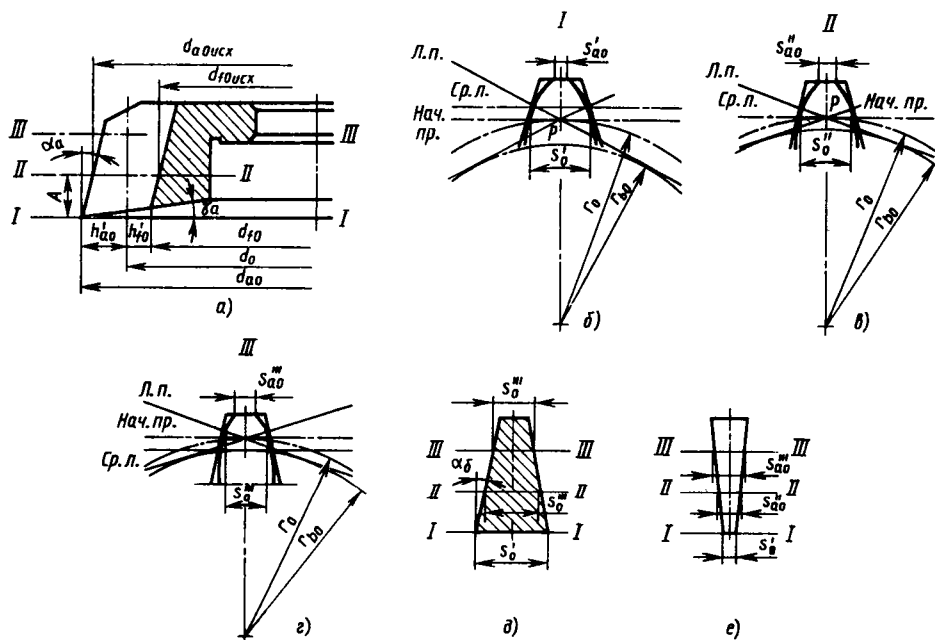


Рис. 3.38. Диаметральные размеры зубьев долбяка (а) и размеры зуба в различных сечениях (б—е)

В сечении $III-III$ при $x < 0$ (рис. 3.38, z) средняя линия рейки приближается к оси долбяка: профиль зубьев долбяка образуется при положении начальной прямой, отличном от средней линии рейки. Точка касания профилей зубьев рейки и долбяка приближается к дну впадины зубьев рейки. Толщина зуба $s''_{\alpha 0}$ по дуге делительной окружности уменьшается, а толщина зуба $s'_{\alpha 0}$ по окружности вершин увеличивается по сравнению с $s'_{\alpha 0}$ и $s_{\alpha 0}$ в исходном сечении.

Соответственно изменяются и высотные размеры зубьев долбяка; высота головки h_{a0} и высота ножки h_{f0} . В исходном сечении $h''_{a0} = h_{f1}$ и $h''_{f0} = h_{a1} + c_{10}$; для стандартных колес $h''_{a0} = 1$ и $h''_{f0} = 1,25$; в сечении $I-I$ $h''_{a0} > h''_{a0}$; в сечении $III-III$ $h''_{a0} < h''_{a0}$. Изменение толщины зуба долбяка по дуге делительного цилиндра по длине зуба образует задний угол α_0 на боковых режущих кромках.

Долбяки изготавливают трех основных видов: дисковые (см. рис. 3.37, b), чашечные (см. рис. 3.37, $в$) и хвостовые (см. рис. 3.37, z). Базой дисковых и чашечных долбяков являются отверстие и внешний базовый торец. Долбяки на штосселе зубодолбежного станка крепят гайкой. Гайка и резьбовой конец штосселя станка могут препятствовать обработке блочных колес. Для их обработки применяют чашечные долбяки, у которых передний рабочий торец отстоит на большем расстоянии от базового торца и имеется выемка для размещения крепежной гайки (см. рис. 3.37, $в$). Хвостовые долбяки применяют обычно для обработки колес с внутренним зубчатым венцом.

Основными определяющими размерами долбяка являются модуль, номинальный диаметр d_0 делительной окружности и угол профиля α_0 . Модуль определяет диаметр делительной окружности, число и размеры зубьев. Модуль долбяка равен модулю нарезаемого колеса.

Диаметр делительной окружности

$$d_0 = m_0 z_0. \quad (3.14)$$

В ГОСТ 9323—79 указаны следующие номинальные значения диаметров делительных окружностей долбяков: 25; 38;

50; 80; 100; 125; 160; 200 мм. Расчетный диаметр делительной окружности может отличаться от номинального.

Диаметры посадочных отверстий долбяков отличны от стандартизованных диаметров отверстий насадных инструментов. Они установлены в соответствии с размерами посадочных мест станков: для дисковых долбяков: 20; 31,75; 44,45; 88,9; 101,6 мм с допуском $H4$ или точнее; у хвостовых долбяков применяют для крепления конус Морзе укороченный B12, B18, B24 (ГОСТ 9232—79).

Боковые режущие кромки зубьев долбяка для нарезания колес с эвольвентным профилем зубьев в проекции на плоскость, перпендикулярную оси долбяка, имеют также эвольвентную форму, углы их профиля должны быть равны. Диаметр основной окружности эвольвентного профиля режущей кромки (в проекции на плоскость, перпендикулярную к оси долбяка)

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_0. \quad (3.15)$$

Размеры зубчатого венца долбяка определяют в зависимости от коэффициента смещения x_0 или расстояния A между рассматриваемым и исходным сечениями долбяка. При проектировании нового долбяка учитывают начальное исходное расстояние A . У имеющегося долбяка учитывается расстояние A между сечениями его переднего торца и исходным. Связь между x_0 и A определяют в зависимости от значения заднего угла α_0 на окружности d_{a0} вершин зубьев долбяка:

$$x_0 m_0 = A \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (3.16)$$

Размеры зубьев в плоскости переднего торца условно определяют в плоскости, перпендикулярной к оси долбяка, проходящей через вершины его зубьев:

$$\begin{aligned} h'_{a0} &= h''_{a0} + x_0 m_0 = h''_{a0} + 2A \operatorname{tg} \alpha_0; \\ h'_{f0} &= h''_{f0} - x_0 m_0 = h''_{f0} - 2A \operatorname{tg} \alpha_0, \end{aligned} \quad (3.17)$$

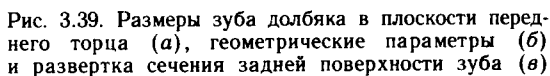
в исходном сечении $h''_{a0} = h_{f1}$; $h''_{f0} = h_{a1} + c_{10}$.

Диаметры окружностей вершин и впадин в плоскости переднего торца

$$d'_{a0} = d_0 + 2h'_{a0}; \quad d'_{f0} = d_0 - 2h'_{f0}. \quad (3.18)$$

В плоскости $I-I$ переднего торца толщина зуба долбяка по дуге делительной окружности $s'_0 = s''_0 + 2k$, или учитывая, что $k = x_0 m_0 \operatorname{tg} \alpha_0$ и $x_0 m_0 = \operatorname{Atg} \alpha_a$, получаем $k = 2 \operatorname{Atg} \alpha_a \operatorname{tg} \alpha_0$;

Ширина впадин нарезаемого колеса может отличаться от номинального ($p_1/2 = \pi m/2$) для образования бокового зазора в передаче. При проектировании долбяка для данного колеса размер e_1 указан на чертеже колеса. Для стандартных долбя-



ков необходимое для создания бокового зазора передачи увеличение Δs толщины зуба долбяка установлено усредненным в зависимости от m :

m	1—1,5;	2—2,5;	3—3,5;	4—5;
Δs	0,09	0,1	0,12	0,14

m	5—6;	7—8;	9—10;	11—12
Δs	0,15	0,17	0,18	0,20

Толщина зуба в плоскости $II-II$ исходном сечении

$$s'_0 = \pi m / 2 + \Delta s. \quad (3.20)$$

Приведенные значения m и Δs обеспечивают наименьший гарантированный боковой зазор приблизительно для степени точности 6 по сопряжению.

Геометрические параметры лезвий зубьев долбяка. Каждый зуб долбяка имеет три режущие кромки — одну на вершине, по окружности вершин, и две боковые; кромка в основании впадин зубьев в резании не участвует; между окружностью впадин долбяка и окружностью вершин зубьев нарезаемой заготовки образуется зазор s_{10} , обычно равный радиальному зазору передачи s_{12} .

На режущей кромке, расположенной по вершине зуба (по окружности вершин), образуются задние α_a и передние γ_a углы. У стандартных долбяков (ГОСТ 9323—79) $\alpha_a = 6^\circ$ и $\gamma_a = 5^\circ$. Боковые задние поверхности зубьев долбяка — эвольвентные винтовые поверхности, передняя поверхность — коническая с прямолинейной образующей.

Рассмотрим два сечения боковой поверхности зуба долбяка плоскостями, перпендикулярными к оси: сечение $I-I$ и второе сечение на расстоянии b от него (рис. 3.39, б). Следы сечений задних винтовых поверхностей зубьев в сечениях, перпендикулярных к оси долбяка, эквидистантны. Расстояние между ними по нормали равно расстоянию e' между началами эвольвент по основной окружности.

Так как $\operatorname{tg} \alpha_n = e' / b$, инструментальные главные задние углы по высоте зуба долбяка равны.

В развертке сечений зубьев долбяка (рис. 3.39, в) делительным и основным цилиндрами ход задних поверхностей зубьев одинаков и равен p_z , но углы

наклона, образующие задние углы по высоте зуба, различны; в сечениях по основной и делительной окружностям

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_{a0} = \pi d_{a0} / p_z; \quad \operatorname{tg} \alpha_0 = \pi d_0 / p_z,$$

откуда получаем

$$\operatorname{tg} \alpha_{a0} = \operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_0 \frac{d_{a0}}{d_0} = \operatorname{tg} \alpha_0 \cos \alpha_0.$$

Учитывая (3.19), что $\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_a \operatorname{tg} \alpha_0$ [см. (3.19)], получаем

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_a \sin \alpha_0. \quad (3.21)$$

При стандартных значениях $\alpha_a = 6^\circ$ у долбяков для колес $\alpha_1 = 20^\circ$, задний боковой угол в нормальном сечении $\alpha_n = 2^\circ 4'$.

Повышение стойкости и работоспособности долбяков может быть обеспечено увеличением значения заднего угла [42].

Передняя поверхность зубьев долбяка обычно образуется по поверхности конуса с осью, совпадающей с осью долбяка. Угол при основании конуса создает инструментальный передний угол γ_a на вершине зубьев долбяка. В радиальных сечениях инструментальные передние углы для всех точек режущих кромок зубьев долбяка одинаковы. В нормальном сечении значения передних углов, влияющих на условия резания и стружкообразования, зависят от значения угла между радиальным и нормальным сечениями; он равен углу профиля α_{0M} в данной точке M режущей кромки. Инструментальный главный передний угол (см. рис. 3.39, б) определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_{nM} = \operatorname{tg} \gamma_a \sin \alpha_{0M}. \quad (3.22)$$

В приведенной формуле не учтен угол наклона режущей кромки λ , но ввиду малой величины этого угла его влияние несущественно.

Угол α_{0M} профиля по высоте зуба у большинства долбяков изменяется от 0 до 30° , передний угол в нормальном сечении у долбяков для колес с $\alpha_1 = 20^\circ$ изменяется от 0 до $3-4^\circ$. Для увеличения угла α_{nM} может быть сделана дополнительная заточка передней поверхности зубьев гребенок, но из-за сложности и

большой трудоемкости процесса этот способ не нашел широкого применения.

Режущие кромки зубьев долбяка образуются при пересечении конической передней поверхности и задних эвольвентных винтовых поверхностей зубьев. Получаемую форму режущей кромки можно определить при совместном решении уравнений этих поверхностей. В прямоугольной системе координат с осями X и Y , расположенными в плоскости переднего торца долбяка, и осью Z , совпадающей с осью долбяка, уравнение задней винтовой эвольвентной поверхности (рис. 3.40, а и б) имеет вид

$$x = r_M \sin(\varphi + \theta); y = r_M \cos(\varphi + \theta); z = P\varphi.$$

Координаты точки M передней конической поверхности:

$$x_M = r_M \sin \varphi_M; y_M = r_M \cos \varphi_M; z_M = (r_{a0} - r_M) \operatorname{tg} \gamma_a.$$

Параметр эвольвентной винтовой поверхности $P = p_z / (2\pi)$, определяют по ее ходу (рис. 3.39, в) $p_z = \pi d_{b0} \operatorname{ctg} \alpha_{b0}$ или $P = 0,5 d_{b0} \operatorname{ctg} \alpha_n$, откуда $z_M = 0,5 d_{b0} \varphi_M \operatorname{ctg} \alpha_n$.

Точка пересечения эвольвентной винтовой поверхности с передней конической определяется при равенстве их аппликат:

$$0,5 d_{b0} \varphi_M \operatorname{ctg} \alpha_n = (r_{a0} - r_M) \operatorname{tg} \gamma_a.$$

Для точки режущей кромки, находящейся на расстоянии r_M от оси долбяка,

$$\varphi_M = (r_{a0} + r_M) \operatorname{tg} \gamma_a / (r_{b0} \operatorname{ctg} \alpha_n), \text{ рад.}$$

Зная значение угла φ_M точек пересечения эвольвентной винтовой задней поверхности зуба и конической передней поверхности, можно определить отклонение получаемого профиля режущей кромки от теоретического.

Для сохранения эвольвентной формы проекции режущей кромки на торцовую плоскость долбяка, производящую образование профиля нарезаемых зубьев, требуется коррекция формы задних поверхностей зубьев.

На рис. 3.40, в показаны проекции на плоскость, перпендикулярную оси долбяка, профили исходных контуров колеса 1 с углом профиля α_1 и задней поверхности зубьев долбяка 2 с углом профиля α'_0 ; угол α'_0 определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha'_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 - \operatorname{tg} \alpha_{a0} \operatorname{tg} \gamma_{a0}}. \quad (3.23)$$

С учетом угла α'_0 осуществляют шлифование и контроль зубьев долбяка. Для обработки колес с углом профиля $\alpha_1 = 20^\circ$, при $\alpha_{a0} = 6^\circ$ и $\gamma_{a0} = 5^\circ$ угол профиля задних поверхностей зубьев долбяка $\alpha'_0 = 20^\circ 10' 14''$. С учетом этого угла окончательно обрабатывают (шлифуют) задние поверхности зубьев долбяка и контролируют их.

Режущие кромки зубьев долбяка могут быть изготовлены с утолщением (модификацией) по ножке зуба для получения

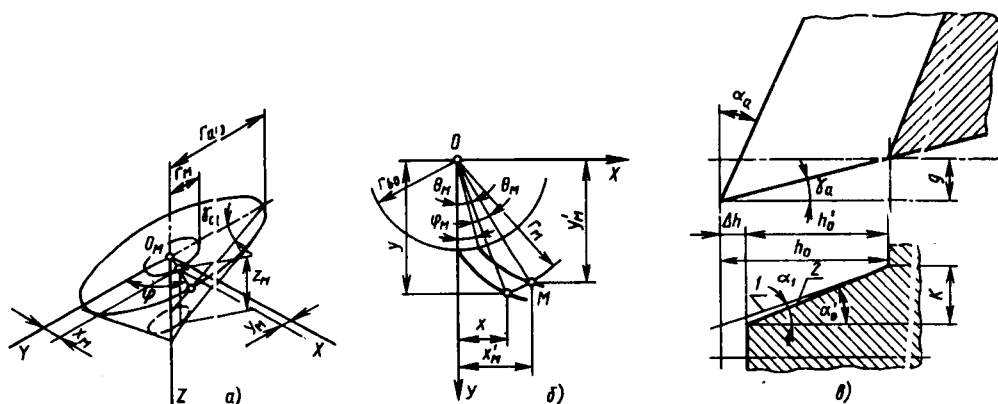


Рис. 3.40. Определение действительного профиля режущей кромки (а и б) и угла профиля задней поверхности (в) зубьев долбяков

колес со срезом вершины зубьев (см. рис. 3.22, *з*) и с фаской или закруглением боковой эвольвентной поверхности на вершине зуба для увеличения стойкости долбяков.

Коэффициент смещения исходного контура x_0 зуба долбяка (расстояние A исходного сечения) влияет на его конструктивные размеры, условия работы и на образование профиля зубьев нарезаемого колеса. Влияние x_0 и A на конструктивные размеры долбяка было показано выше. Меньшая шероховатость, меньшая величина огранки профиля зубьев колеса, нарезанного долбяком, обеспечивается участками режущей кромки, более удаленными от его основной окружности. Для этого желательно увеличение смещения x_0 исходного контура (расстояния исходного сечения A); с увеличением x_0 увеличиваются инструментальные передние углы γ_n , но уменьшается толщина зуба s_{a0} на окружности вершин, лезвия которых снимают большие слои металла, что оказывает влияние на изнашивание долбяков. Для долбяков (по данным В. М. Матюшина) $d_0 = 80$ и 100 мм, рекомендуемая

$$s_{a0} = \sqrt{0,25938 r_{n0} - 0,03752} \approx 0,51 \sqrt{r_{n0}}. \quad (3.24)$$

Толщина s_{a0} зуба долбяка на окружности вершин в плоскости переднего торца с учетом величины смещения может быть определена по формуле (3.10).

Зависимость расстояния A от s_{a0} трансцендентна. Она может быть решена путем графической или аналитической интерполяции. Для определения A могут быть использованы специальные диаграммы [37, 42], одна из которых для долбяков $d_0 = 100$ мм для изготовления колес с $\alpha_1 = 20^\circ$, $h_{a1}^* = 1,0$ и $c_{f1}^* = 0,25$ приведена на рис. 3.41, *а*.

Значение A В. Ф. Романов предложил определять по формуле

$$A = \frac{0,5(s_{a0}'' - s_{a0}')d_{a0}''}{\operatorname{tg} \alpha_0 (\epsilon_{a0}'' \operatorname{tg} \alpha_a - s_{a0}'') - (d_{a0}'')^2 \operatorname{tg} \alpha_0 / d_0}, \quad (3.25)$$

где величины со знаком '' соответствуют исходному сечению.

Коэффициент смещения исходного контура долбяков для изготовления колес с $\alpha_1 = 20^\circ$ и $h_{a1}^* = 1$ установлен ГОСТ

9323—79 в зависимости от числа их зубьев:

$$x_0 = 0,01(z_0 - 10). \quad (3.26)$$

У мелко модульных долбяков ($m < 1,0$ мм) коэффициент смещения $x_0 = 0,3$.

При проектировании долбяка необходимо обеспечить превышение правильно образованного эвольвентного участка профиля зубьев над рабочим участком, т. е. необходимо, чтобы радиусы окружностей, проходящих через граничные точки этих участков, имели соотношение $r_{p12} > r_{p10}$.

Радиусы r_{p12} и r_{p10} определяют по формулам (3.8), причем при определении r_{p10} вместо величин с индексом второго колеса (индекс 2) следует подставлять величины с индексом долбяка (индекс 0). Кроме этого необходимо проверить не подрезаны ли зубьями долбяка ножки зубьев нарезаемого колеса и не срезаны ли головки зубьев нарезаемого колеса режущей кромкой на ножке зуба долбяка. Это возможно, если процесс профилирования выходит за точки N_1 и N_0 (см. рис. 3.23, *а*) касания линии профилирования соответственно с основной окружностью колеса радиуса r_{b1} (первый случай) и с основной окружностью долбяка радиуса r_{b0} (второй случай). Поэтому необходимо, чтобы радиусы кривизны крайних критических точек профилей зубьев в положении профилирования соответственно колеса r_{p1} и зуба долбяка r_{p0} (что соответствует расстояниям K_1N_1 или K_2N_2 на рис. 3.23) были положительными, т. е.

$$r_{p1} = a_{w10} \sin \alpha_{tw10} - 0,5 d_{a0} \sin \alpha_{a0} > 0, \quad (3.27)$$

где α_{tw10} и a_{w10} — соответственно угол профилирования и межцентровое расстояние при нарезании колеса данным долбяком:

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw10} = \frac{s_0 + s_1 - \pi m}{(z_1 + z_0)m} - \operatorname{inv} \alpha_0, \quad (3.28)$$

здесь s_0 и s_1 — соответственно толщины зубьев долбяка и колеса по их делительным окружностям, $s_0 = (0,5\pi + 2x_0 \operatorname{tg} \alpha_0)m$;

$$a_{w10} = \frac{d_1 + d_0}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_{tw10}}.$$

Возникновение нарушения во втором случае вероятнее при использовании дол-

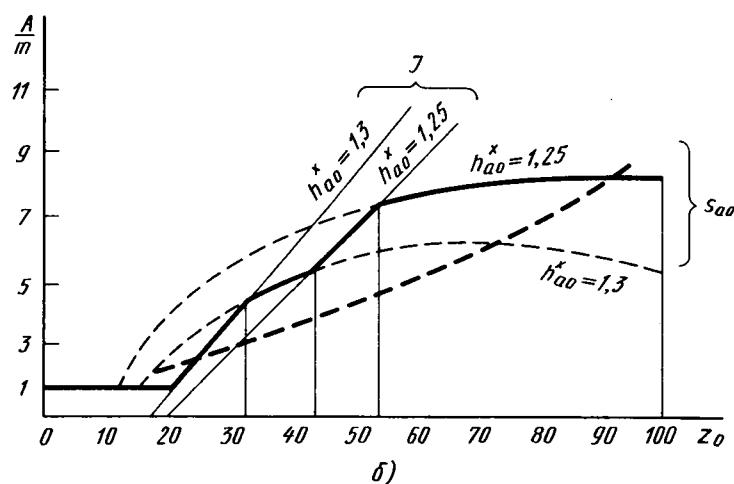
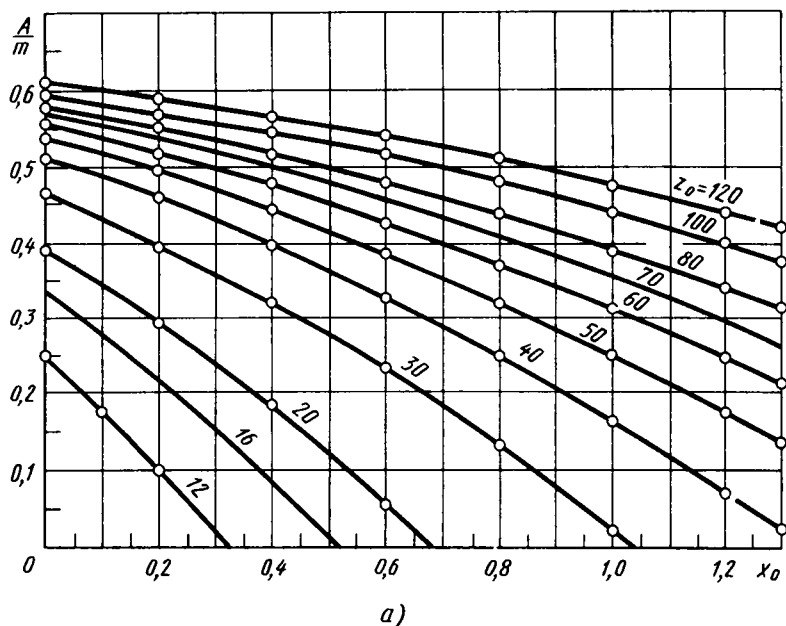


Рис. 3.41. Номограмма определения величины смещения (а) и поле допустимых величин исходного расстояния (б)

бьяков с уменьшенным коэффициентом смещения x_0 (расстояния A), что происходит при переточке долбяков.

Если указанные условия нарушаются, то следует изменить конструктивные исходные параметры долбяка, увеличить коэффициент высоты головки зуба долбяка h_{a0}^* ; иногда при малых z_1 применяют долбяки с $h_{a0}^*=1,3$, при этом следует

проверить удовлетворяется ли условие (3.24) или увеличить d_0 и число зубьев z_0 долбяка или уменьшить $x_0(A)$.

Укрупненная схема определения коэффициента x_0 смещения исходного контура долбяка (величины расстояния исходного сечения A) по первым двум условиям приведена на рис. 3.42. Исходными являются параметры нарезаемых колес: m, α ,

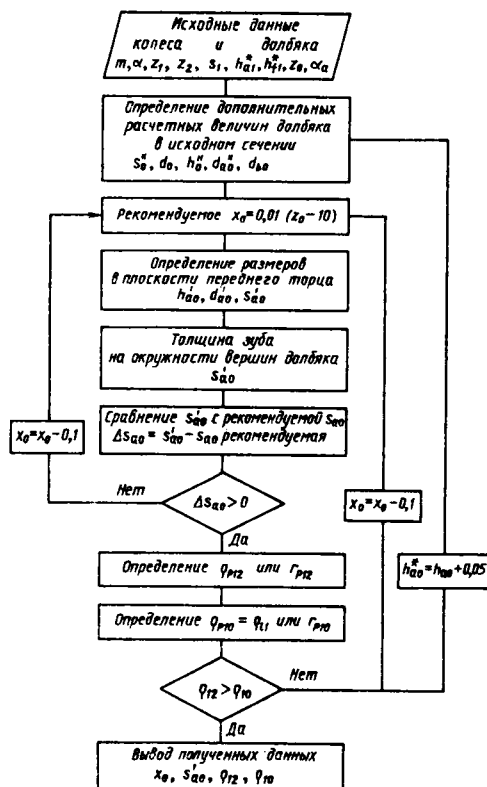


Рис. 3.42. Укрупненная схема определения коэффициента смещения исходного контура долбяка

число зубьев малого z_1 и большого z_2 колес, толщины зубьев малого s_1 и большого s_2 колес, коэффициент высоты головок зубьев колес h_{a1}^* , и дополнительно некоторые данные долбяка: число зубьев z_0 , коэффициент высоты головки h_{a0}^* и задний угол α_a на окружности выступов.

По рекомендуемому значению коэффициента смещения x_0 определяют толщину зубьев s_{a0} на окружности вершин нового долбяка. Если s_{a0} получается меньше рекомендуемой (3.24), то, чтобы избежать снижения работоспособности долбяка, необходима корректировка коэффициента смещения x_0 . Затем проверяют, удовлетворяется ли условие правильности зацепления колес, нарезанных спроектированным долбяком: сравнивают радиусы кривизны ρ_{r12} и $\rho_{r10} = \rho_{r1}$ граничных точек профиля и зубьев колеса. Если есть за-

кругление или фаска на вершине зуба долбяка, то при расчете $\rho_{r10} = \rho_{r1}$ следует принять r_{a0} равным радиусу границы эвольвентного участка профиля зуба долбяка. При неудовлетворительных результатах корректируют значение x_0 или высоту h_{a0} головки зубьев долбяка.

Проектирование долбяков может быть адресное для нарезания определенного колеса и безадресное, обезличенного применения. Последние предназначены для образования зубьев колес средних чисел зубьев. В этом случае для систематизации проектирования и выбора величины A может быть использована номограмма, аналогичная приведенной на рис. 3.41, б [42]. На номограмме приведены линии, ограничивающие значение s_{a0} по зависимости (3.24), и линия J , ограничивающая величину A по условию обеспечения правильного зацепления колес, нарезанных долбяком в определенном диапазоне чисел их зубьев при $r_{r12} > r_{r10}$ (см. пункт 2.4.13 ГОСТ 16530—83 и приложение № 4, ГОСТ 16532—83). Смещение A допустимо в области, расположенной ниже ограничивающих линий. При малом значении A/m по условию J можно увеличить высоту головки зубьев долбяка до $h_a = 1,3$. Ограничивающие линии при этой новой высоте зуба на номограмме показаны штриховыми линиями.

Величина A/m , принятая в ГОСТ 9323—79 при $h_{a0}^* = 1,25$, показана жирной штриховой линией. Это значение A обеспечивает большую s_{a0} и, следовательно, большую стойкость долбяка и больший запас превышения эвольвентного участка профиля над рабочим профилем зуба нарезаемого колеса. Это необходимо при уменьшении высоты рабочего профиля головки зуба инструмента на вершине зуба фаской или закруглением, которые рекомендуются для повышения стойкости долбяка.

Требования по точности, предъявляемые к долбякам, определяются требуемой точностью зубчатых колес (ГОСТ 9323—79). При этом учитывается, что каждый зуб долбяка обрабатывает и образует полностью профилем одной впадины колеса. Рабочий чертеж долбяка приведен на рис. 3.43.

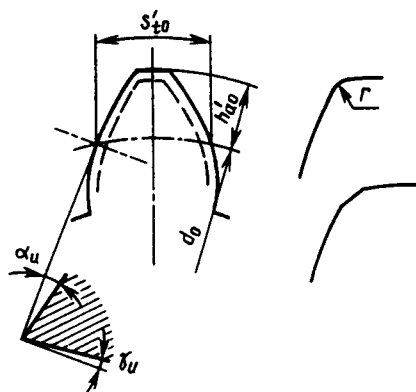
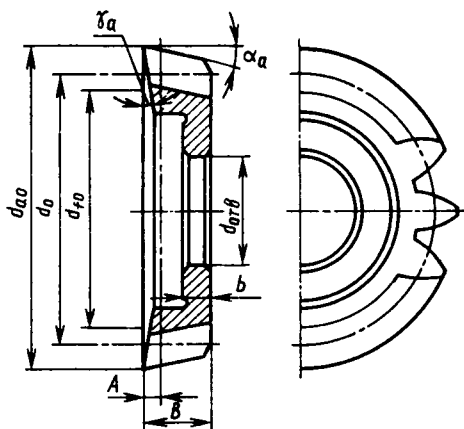


Рис. 3.43. Зуборезный долбяк

Конструктивные особенности долбяков. Сборные и составные конструкции применяют для крупногабаритных долбяков и долбяков с режущей частью, оснащенной пластинами из твердых сплавов. Долбяки, оснащенные твердым сплавом, применяют для обработки колес из труднообрабатываемых материалов. Пластины припаивают на каждый зуб (рис. 3.44, а). Предложена конструкция долбяков с механическим креплением зубьев 2 из твердого сплава на корпусе 1 (рис. 3.44, б), для центрирования твердосплавных зубьев применяют специальный сепаратор 3 [29].

Ступенчатые долбяки применяют для повышения производительности. Два или три долбяка, установленные на одной оправке, предложены В. А. Евдокимовым и С. С. Петрухиным. Нижний долбяк осуществляет черновую обработку, верхний — чистовую (рис. 3.44, в).

Сегментные долбяки (рис. 3.44, г) работают без процесса врезания. При обычном методе обработки процесс врезания зубьев долбяка в заготовку происходит при движении обката (вращении) долбяка и заготовки и при радиальном сближении их осей; это занимает до 3/4 оборота колеса. У сегментных долбяков удалено несколько зубьев, что позволяет установить долбяк и заготовку на требуемое межосевое расстояние и обрабатывать без радиальной подачи только при

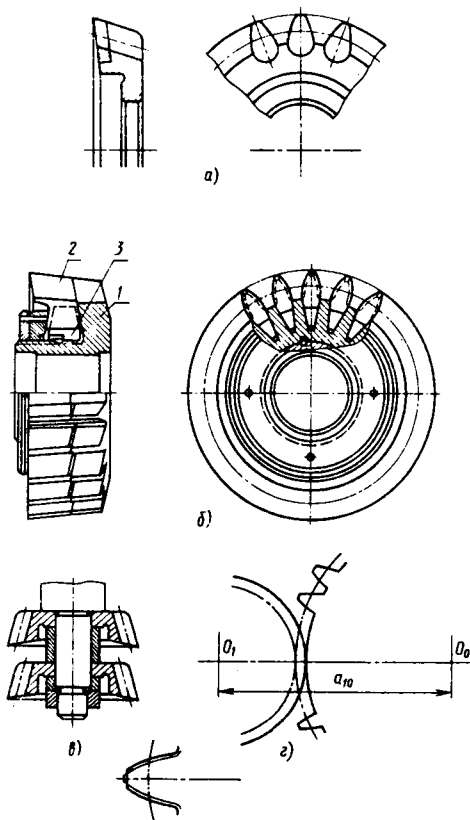


Рис. 3.44. Виды долбяков:

а — составной с напайными твердосплавными пластинами; б — сборный с твердосплавными зубьями; в — ступенчатый; г — сегментный

вращательном движении обката. Такие долбяки могут быть применены для нарезания зубьев секторов и колес с малым числом зубьев (с числом зубьев, меньшим числа зубьев долбяка).

Долбяки применяют также для нарезания колес с внутренними зубьями. Диаметральные размеры таких долбяков должны обеспечить размещение долбяка внутри отверстия заготовки. Для нарезания колес с малым числом зубьев эти долбяки часто приходится изготавливать хвостовой конструкции. При их проектировании необходимо дополнительно проверить условия несрезания головок зубьев нарезаемого колеса при врезании (радиальной подаче) и провести некоторые другие проверки [42, 44, 45].

Долбяки для колес с винтовыми и шевронными зубьями (см. рис. 3.37, *д, е*) имеют ту же конструкцию, что и прямозубые, но зубья у них винтовые. Переднюю поверхность зубьев выполняют или перпендикулярно к направлению зуба или в торцовой плоскости; в последнем случае необходима специальная заточка режущих кромок для получения требуемых значений передних углов. Долбяки для колес с винтовыми зубьями делают в соответствии с ГОСТ 9323—79 с углом наклона зубьев β , равным 15° и 23° .

Червячные зуборезные фрезы. Червячные фрезы относят к группе обкатных многолезвийных инструментов с конструктивным движением обката. Режущие кро-

ки их зубьев расположены на винтовой поверхности. При работе оси фрезы и нарезаемого колеса перекрещиваются (рис. 3.45, а). При главном вращательном движении фрезы D_f режущие кромки вступают в контакт с заготовкой в последовательно смещенных положениях, что в сочетании с вращательным движением заготовки образует движение обката в процессе обработки (рис. 3.45, в). Образование обработанной поверхности зубьев заготовки происходит при профилировании по методу огибания (рис. 3.45, б). Винтовая поверхность, на которой расположены режущие кромки фрезы, — инструментальная. Она является сопряженной с требуемой поверхностью зубьев нарезаемого колеса и с поверхностями зубьев сопряженной рейки. Эта поверхность образует витки червяка, называемого основным.

Окончательное образование зубьев колеса происходит в точках, удовлетворяющих условию $v_{sn}=0$, в которых нормаль l к профилю режущей кромки проходит через полюс профилирования (рис. 3.46, б, в). Обработка зуба колеса по длине заготовки обеспечивается перемещением фрезы в направлении параллельно оси фрезы, т. е. в направлении продольной подачи $S_{пр}$.

При вращательном главном движении срезание стружки с поверхности заготовки происходит на всей длине контакта зубьев фрезы с заготовкой. Разме-

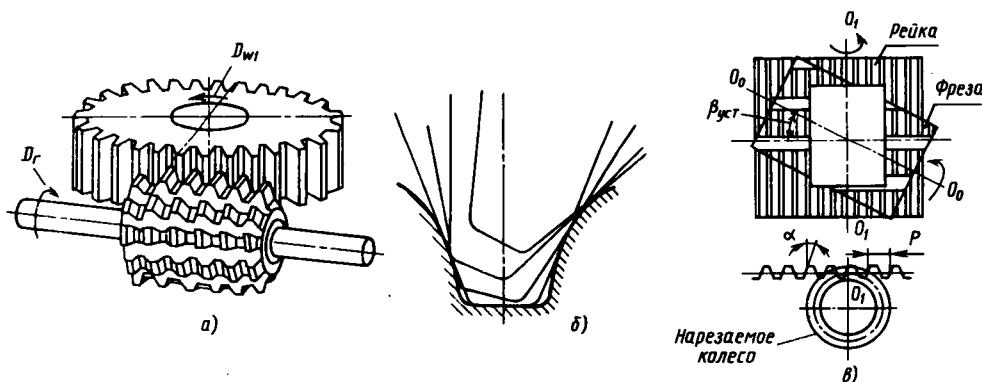


Рис. 3.45. Схема работы червячной фрезы (а и в) и образование профиля зубьев колеса (б)

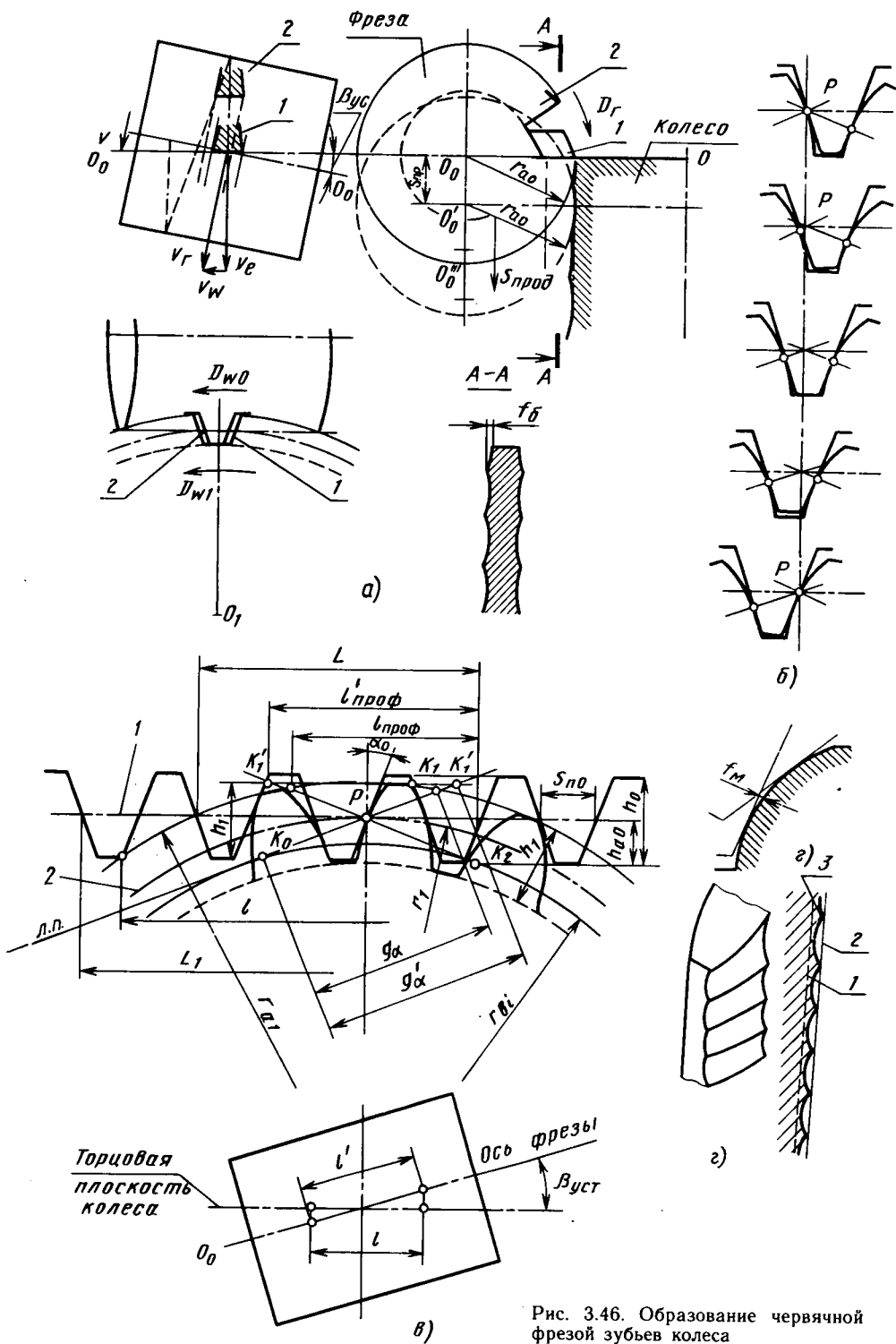


Рис. 3.46. Образование червячной фрезой зубьев колеса

ры и характер этого контакта, как и при обычном фрезеровании, изменяются в процессе резания. Центроидой заготовки является начальная окружность, а центроидой зубьев фрезы — начальная прямая. Центроиды расположены в плоскости, нормальной к оси заготовки.

Скорости перемещений обката режущих кромок фрезы по начальной прямой 1 и поверхности зубьев заготовки по начальной окружности 2 (рис. 3.46, а) должны быть равны ($v_{w0} = v_{w1}$). Для однозаходной фрезы шаг зубьев по начальной прямой p_{w0} должен быть равен шагу зубьев нарезаемого колеса по его начальной окружности: $p_{w1} = \pi m$. Результирующее движение резания D_e режущих кромок червячной фрезы образуется в результате главного вращательного движения D_r и обкатного движения D_w (см. рис. 3.46, а).

Для обеспечения продольной формы зубьев нарезаемого колеса вектор скорости v_e результирующего движения режущих кромок зубьев фрезы должен совпадать с требуемой продольной формой зубьев; при нарезании прямозубого колеса он должен быть параллельным оси заготовки. Скорость v_e является скоростью относительного движения при скорости абсолютного движения (главной скорости v) и скорости переносного движения (скорости движения обката v_w).

Вектор скорости v главного движения находится в плоскости, перпендикулярной к оси O_0O_0 фрезы, вектор переносной v_w скорости движения обката — в плоскости, перпендикулярной к оси заготовки, и вектор относительной скорости v_e результирующего движения — в плоскости, проходящей через ось заготовки (для прямозубого колеса рис. 3.46, а):

$$v_e = v - v_w. \quad (3.29)$$

Так как на оборот однозаходной фрезы $v_w = p_n$ и $v_r = \pi d_0$, получаем

$$\sin \beta_{yct} = v_w / v = p_n / (\pi d_0) = \sin \gamma_{m0}, \quad (3.30)$$

где β_{yct} — угол установки оси фрезы к торцевой плоскости заготовки, он равен углу γ_{m0} подъема винтовой поверхности зубьев фрезы (основного червяка).

Образование поверхности зубьев может быть рассмотрено в плоском торцовом

сечении, перпендикулярном к оси заготовки (рис. 3.46, в). В этом сечении могут быть определены необходимая длина фрезы и порядок образования поверхностей зубьев колеса и впадин. Окончательное образование поверхностей зубьев колеса происходит в точках линии профилирования. При обработке колеса с эвольвентным профилем зубьев проекция линии профилирования на торцовую поверхность заготовки (прямая $K_1-K'_0$) проходит через полюс профилирования и касательна к основной окружности зубьев нарезаемого колеса. Точки K_1 и K_0 ее пересечения с окружностью вершин зубьев заготовки и прямой вершин зубьев фрезы определяют активную ее длину g_a . Для каждой стороны зуба в проекции на торцовую плоскость заготовки

$$g_a = \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} - r_1 \sin \alpha_0 + h_{a0} / \sin \alpha_0.$$

Эта длина увеличивается с увеличением числа зубьев нарезаемого колеса z_1 . При обработке колеса с бесконечно большим числом зубьев рейки $g'_a = h_1 / \sin \alpha_0$.

Крайние точки K_1 активных участков линий профилирования обеих сторон зубьев колеса, наиболее удаленные от полюса P (линии центров), определяют положение крайних профилирующих режущих кромок в сечении, нормальном к ее виткам. В торцовой плоскости заготовки они определяют длину l по начальной прямой фрезы (проекцию g_a на эту плоскость), необходимую для чистовой обработки зубьев колеса. При $z_1 = \infty$ эта длина по начальной прямой $l'_{\text{проф}} = g'_a \cos \alpha_0 = h_1 \operatorname{ctg} \alpha_0$, где h_1 — высота зубьев колеса.

Длина фрезы в проекции на торцовую плоскость колеса, необходимая для обработки зубьев в целой заготовке, определяется точками E пересечения прямой вершин зубьев фрезы с окружностью вершин заготовки (нарезаемого колеса). Она равна

$$l = 2 \sqrt{r_{a1}^2 - (r_{a1} - h_1)^2} = 2 \sqrt{h_1(2r_{a1} - h_1)}.$$

Необходимая длина l' фрезы в направлении ее оси определяется делением соответственно $l'_{\text{проф}}$ и l на $\cos \beta_{yct}$. При конструировании фрезы эта длина должна быть принята большей, о чем будет указано ниже.

Поверхность зубьев колеса при обработке червячной фрезой образуется не непрерывно сопряженной инструментальной поверхностью, а периодически режущими кромками, расположенными друг от друга на расстоянии окружного шага (рис. 3.46, а). Число резцов, образующих профиль каждой стороны зуба,

$$z_{\text{проф}} = l_{\text{проф}} z_0 / p,$$

где z_0 — число зубьев фрезы.

Число профилирующих зубьев, окончательно образующих профиль зуба, увеличивается с увеличением числа зубьев колеса z_1 , так как повышается $l_{\text{проф}}$. Для колеса с бесконечно большим числом зубьев при однозаходной фрезе число профилирующих зубьев (резцов)

$$z_{\text{проф}} = h_1 \operatorname{ctg} \alpha_0 z_0 / p. \quad (3.31)$$

При обработке колеса с $\alpha_1 = 20^\circ$ и $h_1^* = 2$ число зубьев $z_{\text{проф}} = 1,75 z_0$.

У многозаходных фрез ход P_z винтовой поверхности витка увеличивается по сравнению с шагом p однозаходных фрез в число раз заходов, и поэтому число резцов пропорционально уменьшается, а огранка и волнистость соответственно увеличиваются. Поверхность зуба в поперечном сечении, перпендикулярном к оси заготовки, из-за ограниченного числа резцов получается граненой. Приблизительно высота гребешков огранки в точке M зуба колеса с углом профиля (давления) α_M

$$f_M = r_{\delta 1} \operatorname{tg} \alpha_M \left(1 - \cos \frac{\varepsilon_1}{2} \right), \quad (3.32)$$

где ε_1 — угол поворота заготовки при повороте фрезы на один угловой шаг, $\varepsilon_1 = 2\pi / (z_1 z_0) = 360^\circ / (z_1 z_0)$.

Расстояние между точками профилирования изменяется в соответствии с изменением величины касательной составляющей скорости подачи $v_{\text{скас}}$. Наибольшие значения $v_{\text{скас}}$ и f_M получаются у окружности вершин и наименьшие — у окружности впадин колеса.

Для образования зубьев колеса в продольном направлении производится продольная подача $S_{\text{пр}}$ фрезы при непрерывном вращении заготовки. Поверхность зуба в продольном направлении образуется также не непрерывно, а периодически

отдельными резами, повторяющимися при перемещении фрезы на величину $S_{\text{пр}}$ на один оборот заготовки, и имеет волнистую форму. Высота гребешков волнистости на боковой поверхности зуба (сечение $A-A$)

$$f_{\delta} = S_{\text{пр}}^2 \sin \alpha_{0M} / (4 d_{a0} \cos^2 \gamma_{m0}). \quad (3.33)$$

Она зависит от угла профиля эвольвенты α_{0M} в рассматриваемой точке и поэтому изменяется по высоте зубьев так же, как и изменяется значение огранки.

Огранка и волнистость являются погрешностями образования червячной фрезой поверхности заготовки. Образованная поверхность получается ячеистой вогнутой формы, вершины которой выходят за пределы теоретической поверхности (рис. 3.46, з). Контакт двух зубьев колеса происходит не по теоретической поверхности 1, а по выступам 2 реально получаемых поверхностей 3. Для исправления неточности получаемой поверхности зуба (огранки и волнистости) применяют инструменты для чистовой обработки (шеверы, шлифовальные круги и др.).

Конструкция фрезы. Червячная фреза представляет собой червяк с продольными винтовыми или прямыми стружечными канавками для образования передних поверхностей зубьев и затылованными задними поверхностями зубьев для образования задних углов. Пересечения передних поверхностей стружечных канавок и затылованных задних поверхностей образуют режущие кромки. Они расположены на поверхности основного червяка, сопряженного с поверхностями зубьев колеса (см. рис. 3.45).

К основным конструктивным элементам червячных фрез относятся: диаметр и длина фрезы, диаметр отверстия, число и форма зубьев, направление стружечных канавок, геометрические параметры, размеры и форма режущих кромок и др. (рис. 3.47).

Диаметральные размеры фрезы влияют на ее конструкцию, точность получаемых зубьев колес, погрешности конструкции фрезы и производительность процесса обработки. С увеличением диаметра фрезы можно увеличить число ее зубьев, при этом

формы, острыми на вершине. Поэтому полученную теоретическую длину фрезы необходимо увеличить на две полные толщины зуба по среднему диаметру фрезы.

Длина рабочей части в нормальном сечении к виткам с учетом указанных положений должна быть не меньше (см. рис. 3.46, б) у фрезы для чистовой обработки:

$$L_{\text{чист}} = h_1 \operatorname{ctg} \alpha_0 + 4 h_0 \operatorname{tg} \alpha_0 + 2 s_0 \approx \\ \approx 2 \left[\frac{h_1}{\sin 2\alpha_0} (1 + \sin^2 \alpha_0) + s_0 \right];$$

у фрезы для черновой обработки она определяется положением точки *E* (см. рис. 3.46, в)

$$L_1 = 2 \left[\sqrt{h_1 (2r_{c1} - h_1)} + s_0 \right].$$

В осевом сечении фрезы минимально необходимая ее длина с учетом угла установки фрезы $\beta_{\text{уст}} = \gamma_{m0}$ определяется умножением $L_{\text{чист}}$ и L_1 на $1/\cos \gamma_{m0}$ (см. рис. 3.46, в).

В процессе нарезания зубьев колеса режущие кромки фрезы нагружены неравномерно. Для повышения стойкости и работоспособности фрезы в процессе обработки изменяют нагрузки на зубья путем их перемещения относительно заготовки — линии кратчайшего междоустьевых расстояния, т. е. осуществляют так называемую передвижку фрезы. Для возможности таких передвижек необходим запас длины фрезы против указанных расчетных размеров. Длину фрезы с учетом этих передвижек принимают при малых модулях до 10—16 шагов. По существующим нормативам длину фрезы устанавливают с различным запасом на передвижки (нормальной и увеличенной длины) короткой и длинной серий.

По бокам фрезы делают цилиндрические буртики для контроля точности установки фрезы на зубофрезерном станке; буртики делают длиной $l_6 = 4 \dots 6$ мм. Общая длина фрезы

$$L_{\text{общ}} = L + 2l_6. \quad (3.35)$$

Диаметр буртиков делают больше диаметра посадочного отверстия и меньше диаметра d_1 окружности, проходящей по дну стружечных канавок.

От числа зубьев фрезы зависят размеры окружного шара ее зубьев, ширина спинки зуба и размеры стружечной канавки. Число зубьев влияет на величину огранки, волнистости и производительность обработки, желательно число зубьев увеличивать. Однако при увеличении числа зубьев уменьшается ширина зуба, снижаются его жесткость и возможное число переточек, а следовательно, общая работоспособность фрезы. Число зубьев фрезы определяют так же, как и у приведенных выше фасонных фрез с затылованными зубьями.

При одном и том же наружном диаметре фрезы число ее зубьев уменьшается с увеличением модуля, но если увеличить наружный диаметр фрезы, то и число ее зубьев увеличится. Поэтому для одних и тех же модулей число зубьев у фрез типа I (прецизионных) больше, чем у фрез типа II.

Заднюю поверхность зуба фрезы для образования задних углов на всех трех режущих кромках делают затылованной обычно в радиальном направлении по архимедовой спирали (рис. 3.48, а).

Для обеспечения необходимой точности фрезы задние поверхности зубьев шлифуют. Длина шлифованной части задней поверхности зуба по вершине должна быть не менее $1/2$ длины зуба для модулей до 4 мм и не менее $1/3$ длины зуба для модулей свыше 4 мм. Размеры стружечной канавки должны обеспечить размещение стружки и свободный выход затыловочного резца после обработки задней поверхности.

Направления стружечных канавок и передней поверхности зубьев влияют на величины передних углов боковых режущих кромок зубьев, равномерность фрезерования, на технологичность изготовления, заточки фрез и их контроль.

Фрезы делают с прямыми и винтовыми стружечными канавками. При прямых канавках (рис. 3.48, б), параллельных оси фрезы, передние углы на боковых режущих кромках получаются различными: с одной стороны зуба $\gamma > 0$, с другой $\gamma < 0$. Зубья каждой стружечной канавки постепенно входят в контакт с заготовкой и постепенно выходят из него, что

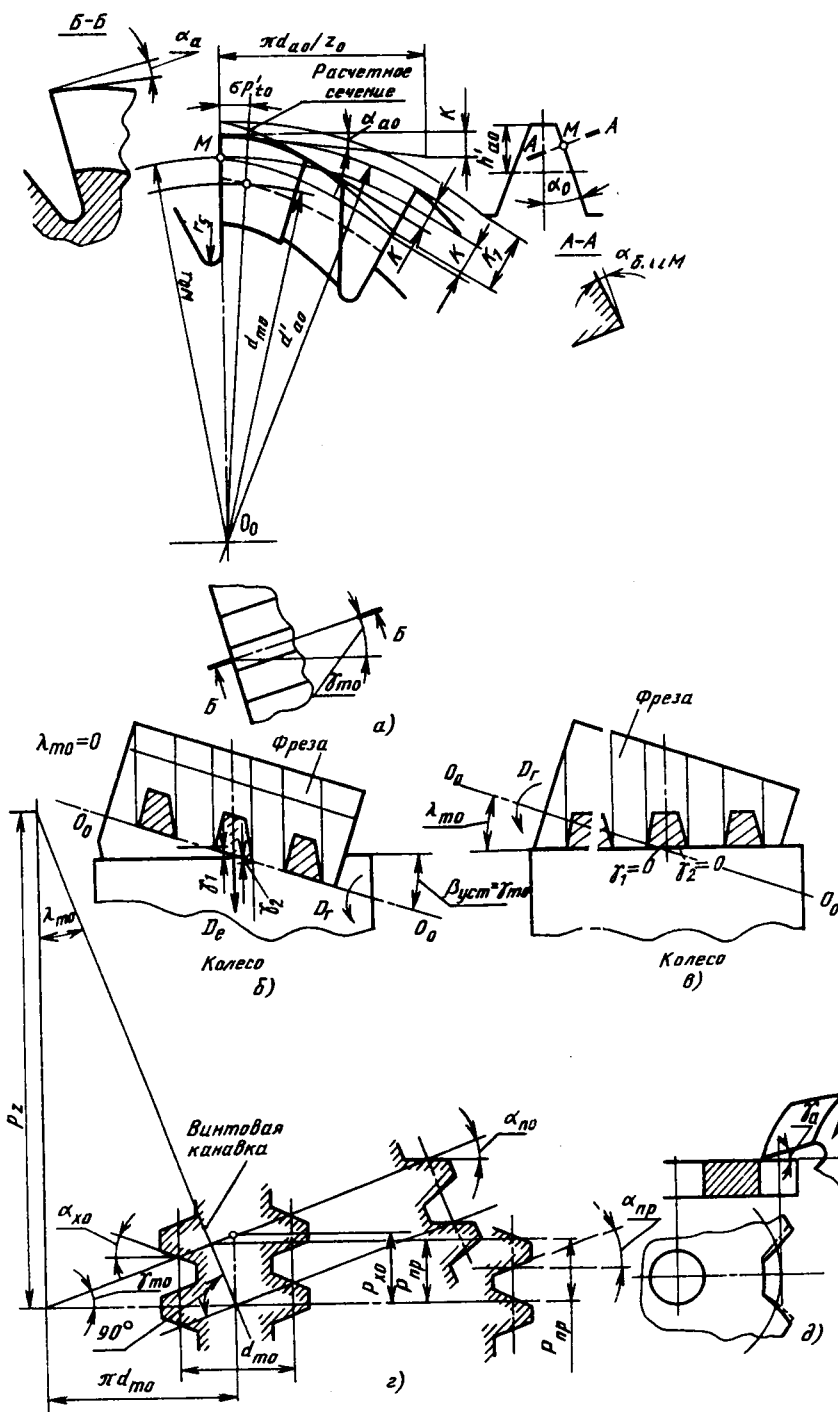


Рис. 3.48. Формы зуба и впадины червячной фрезы (а), стружечные канавки прямые (б) и винтовые (в), размеры профиля зуба в проекции на осевую плоскость (з), зуб с $\gamma_a > 0$ (д)

обеспечивает большую равномерность фрезерования, чем при фрезеровании фрезами с винтовыми канавками, упрощается технология заточки и переточки.

Прямые канавки делают у фрез с $\gamma_{m0} < 3...5^\circ$. У фрез с винтовыми стружечными канавками (рис. 3.48, в), нормальным направлением витков фрезы, угол λ_{m0} наклона канавки равен углу γ_{m0} подъема витков фрезы. Передние углы на боковых режущих кромках равны нулю, режущие кромки каждой стружечной канавки одновременно выступают в контакт с заготовкой, что вызывает большую неравномерность фрезерования.

Ход винтовой канавки $p_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \lambda_{m0}$, где d_{m0} — средний расчетный диаметр фрезы.

При переточках диаметральные размеры фрезы уменьшаются, что влияет на расчетные и технологические параметры. Для меньшего отличия фактических размеров от расчетных последние определяют не по максимальным диаметральным размерам новой фрезы, а несколько уменьшенным размерам расчетного сечения, отстоящего от передней поверхности на часть σ окружного шага (см. рис. 3.48, а):

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 2\sigma k, \quad (3.36)$$

где $\sigma = 0,1...0,25$ (по ГОСТ 9324—80 принято $\sigma = 0,1...0,15$); K — величина затылования.

Отклонение хода P_z винтовой стружечной канавки скажется на величине проекции нормального шага витков на осевую плоскость фрезы (значение P_z необходимо при контроле). При $\lambda_{m0} \neq \gamma_{m0}$ (рис. 3.48, з) проекция на ось $p_{np} = p_{x0} P_z / (p_{x0} + P_z)$, $\operatorname{tg} \alpha_{np} = \operatorname{tg} \alpha_{x0} P_z / (p_{x0} + P_z)$; при $\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$ проекция на ось фрезы

$$p_{np} = p_n \cos \lambda_{m0}.$$

Геометрические параметры червячных фрез рассматривают с учетом скорости движения обката, т. е. скорости $v_{отн(01)}$ перемещения режущих кромок относительно обрабатываемой поверхности заготовки.

Червячные фрезы имеют на каждом зубе три режущие кромки: одну на вершине

зуба и две боковые; задние поверхности лезвий образуются затылованием в радиальном направлении с учетом винтового расположения зубьев — угла γ_{m0} . Для сохранения размеров режущих кромок зубьев при переточках задние поверхности всех трех лезвий затылуются с одной величиной K . Задние углы на боковых режущих кромках в нормальном сечении, например в точке M , отстоящей от оси фрезы на расстояние r_{0M} , определяют по формуле (см. рис. 3.48, а)

$$\operatorname{tg} \alpha_{б.н} = r_{a0} \operatorname{tg} \alpha_a \sin \alpha_0 / r_{0M}. \quad (3.37)$$

Задние углы на вершинной кромке зуба $\alpha_a = 12...13^\circ$, что обеспечивает у фрез с углом профиля $\alpha_0 = 20^\circ$ боковые углы $\alpha_{б.н} = 2...4^\circ$.

На величину кинематического заднего угла α_k , который определяют с учетом направления скорости результирующего движения v_e , влияет угол $\beta_{уст}$ установки оси фрезы, равный углу γ_{m0} подъема витков фрезы:

$$\operatorname{tg} \alpha_{б.н.к} = r_{a0} \operatorname{tg} \alpha_a \sin \alpha_a \cos \gamma_{m0} / r_{0M}. \quad (3.38)$$

Обычно $\gamma_{m0} \leq 3^\circ$ и $\cos \gamma_{m0}$ мало отличается от 1, поэтому его значением пренебрегают.

Учитывая, что при переточках фрез с $\gamma \neq 0^\circ$ и затылованными зубьями получают искажения в образованном профиле, у чистовых червячных фрез передний угол на вершинной кромке зуба $\gamma_a = 0$. Передние углы на боковых режущих кромках, измеряемые между перпендикуляром к вектору скорости результирующего движения v_e и передней поверхностью зуба, зависят от направления канавок (см. рис. 3.48, б и в). Если канавки прямые, параллельные оси фрезы, $\lambda_{m0} = 0$, боковые передние углы с одной стороны зуба $\gamma_1 = +\gamma_{m0}$, с другой стороны зуба $\gamma_2 = -\gamma_{m0}$; если направление канавки перпендикулярно к направлению витков фрезы, $\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$, передние углы с обеих сторон зуба равны нулю ($\gamma_1 = \gamma_2 = 0$).

Если образующая передней поверхности канавки не проходит через ось фрезы, т. е. $\gamma_a \neq 0$, например, при $\gamma_a > 0$, то режущая кромка не одновременно совмещается с

плоскостью профилирования по всей своей длине, а постепенно: сначала точки, лежащие у прямой выступов, а затем, с некоторым опозданием, — точки у прямой впадин зуба (рис. 3.48, *д*). При этом заготовка, совершая движение обката, повернется на некоторый угол, и профиль впадины, образуемой на заготовке, получается несимметричным: с одной стороны — с отвалом, с другой стороны — с поднутрением (подрезом). Ввиду этого при проектировании чистовых фрез с $\gamma \neq 0$ необходима соответствующая корректировка профиля зубьев фрезы и формы режущей кромки.

Режущие кромки зубьев фрезы должны быть расположены в поверхности образующих основного червяка, сопряженного с зубьями обрабатываемого колеса. В нормальном сечении они должны быть равны размерам инструментальной рейки:

$$\begin{aligned} p_{n0} &= p_{n1} = \pi m_{n1}; \quad s_{n0} = e_1 = p_{n1} - s_{n1}; \\ \alpha_{n0} &= \alpha_1; \quad h_{a0} = h_{f1}; \quad h_{f0} = h_{a1} + c_{10}. \end{aligned} \quad (3.39)$$

У стандартных фрез для обеспечения бокового зазора колес в зацеплении толщину зуба делают больше половины шага: $s_{n0} = 0,5\pi m_{n1} + \Delta s$, где утолщение Δs установлено по ГОСТ 9324—80 в зависимости от модуля: при $m = 2$ мм $\Delta s = 0,11$, при $m = 5$ мм $\Delta s = 0,17$ мм, при $m = 10$ мм $\Delta s = 0,21$ мм.

Профилирование. Форма режущих кромок и задних поверхностей зубьев фрез должны отвечать следующим требованиям (рис. 3.49, *а* и *б*):

а) режущие кромки должны лежать на поверхности основного червяка *1*, правильно сцепляющегося с эвольвентной поверхностью зубьев колеса, таковым является эвольвентный червяк, эвольвентная винтовая поверхность;

б) форма режущей кромки *3* определяется в пересечении эвольвентной поверхности с передней поверхностью *2* стружечной канавки фрезы; при $\gamma_a = 0$ — это архимедова винтовая поверхность;

в) задние затылованные поверхности *4* зубьев фрезы должны быть выбраны такими, чтобы при переточках фрезы (при повороте передней поверхности канавки)

режущие кромки оставались на той же поверхности основного червяка.

Формы режущих кромок, как линии пересечения винтовой поверхности основного червяка с передней поверхностью канавки, и требуемые формы задних поверхностей определяют в следующей последовательности:

а) определяют винтовую инструментальную поверхность основного червяка — эвольвентную винтовую поверхность [25],

$$\begin{aligned} x_M &= r_M \cos(\theta_M + \varphi_M); \quad y_M = r_M \sin(\theta_M + \varphi_M); \\ z_M &= P\varphi_M + r_{b0} v_M \operatorname{tg} \gamma_{mb0}, \end{aligned}$$

$$\text{где } P = \frac{m_x}{2} = \frac{m_n}{2 \cos \gamma_{m0}}; \quad r_{b0} = \frac{m_n \cos \alpha}{2 \sin \gamma_{m0}};$$

$$v_M = \operatorname{tg} \alpha_M, \quad \theta_M = \operatorname{inv} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_M - \alpha_M,$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{mb0} = \operatorname{tg} \gamma_{m0} \cos \alpha_0,$$

$$\cos \alpha_M = r_{b0} / r_M = m_n \cos \alpha / (2 \sin \gamma_{m0});$$

б) определяют форму передней поверхности зубьев фрезы, при $\gamma_a = 0$ — это архимедова винтовая поверхность, ее уравнение

$$x_M = r_M \cos \varphi_M; \quad y_M = r_M \sin \varphi_M; \quad z_M = P_1 \varphi_M,$$

где $P_1 = P_z / (2\pi)$ или при $\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$ $P_z = 0,5 \operatorname{dctg} \gamma_{m0}$;

в) совместным решением уравнений, описывающих указанные выше поверхности, определяют форму линии их пересечения, т. е. форму режущей кромки;

г) находят такую винтовую (затылованную) поверхность, которая при изменении положения передней поверхности (см. п. б) будет содержать режущую кромку.

При эвольвентном основном червяке при условии неизменной формы образующей линии эту задачу нельзя решить точно, поэтому применяют приближенные методы профилирования.

Эвольвентный основной червяк имеет в осевом сечении криволинейную форму, и при радиальном направлении затылования при переточках профиль режущей кромки смещается с поверхности этого червяка и режущая кромка искажается (рис. 3.49, *в*); при осевом направлении

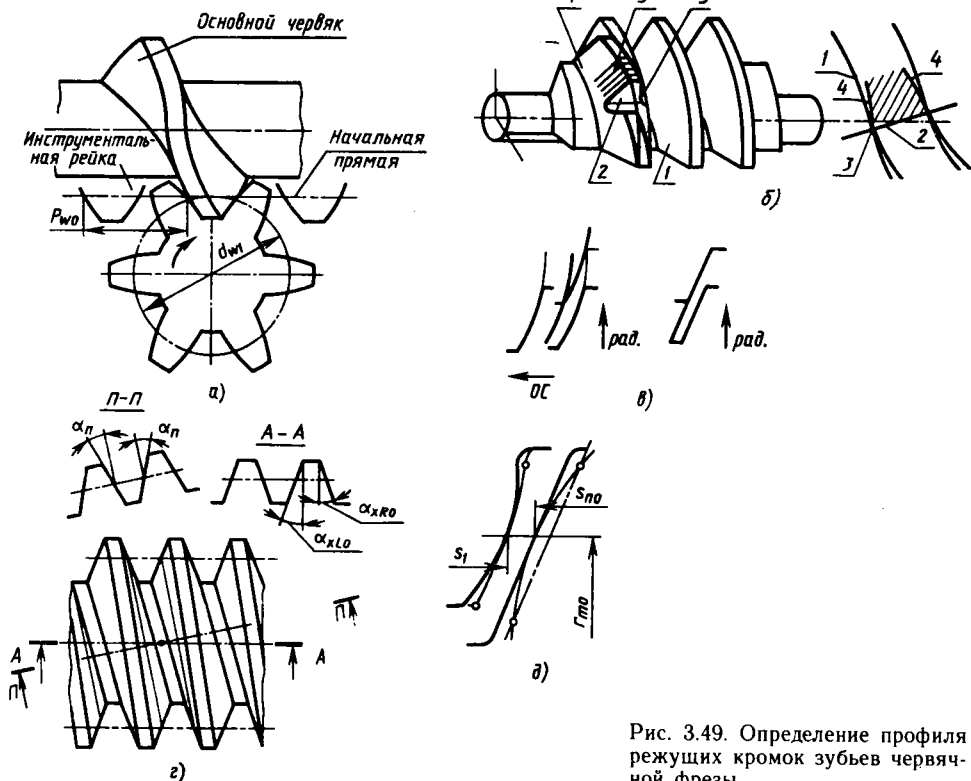


Рис. 3.49. Определение профиля режущих кромок зубьев червячной фрезы

затылования при переточках режущая кромка остается в поверхности основного червяка и ее форма сохраняется, но для образования задних углов на второй стороне зуба требуется противоположное направление затылования, что повлечет при переточках изменение толщины зуба фрезы. Поэтому применяют приближенные методы профилирования, заменяя основной эвольвентный червяк червяком с прямолинейной образующей или в осевом сечении (архимедов червяк) или в сечении, нормальном его виткам (конволютный червяк).

Способ 1. Эвольвентный основной червяк заменяют архимедовым червяком, прямолинейным в осевом сечении (см. рис. 3.49, в и г, сечение $A-A$). Прямолинейная форма профиля режущей кромки сохраняется при всех переточках. Разработано несколько способов определения параметров заменяющего основного

архимедова червяка, вернее — угла его профиля $\alpha_{\text{черв}}$. При всех методах при сохранении требуемой толщины зуба фрезы по среднему диаметру получаются подрезание ножки и срез головки зуба колеса, что влияет на условия зацепления нарезанных колес. Это влияние аналогично влиянию среза профиля головки рекомендуемым исходным контуром, что способствует улучшению условий зацепления колес (рис. 3.49, д).

По одному из способов, указанному в ГОСТ 9324—80, угол профиля заменяющего архимедова червяка определяют по зависимости

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha_{\text{черв}} &= \operatorname{ctg} \alpha_{xR0} = \operatorname{ctg} \alpha_{xL0} = \\ &= \operatorname{ctg} \alpha_1 \cos \gamma_{m0}. \end{aligned} \quad (3.40)$$

Этот способ рекомендуется для фрез с $\gamma_{m0} \leq 6^\circ$ и с $\gamma_a = 0$. Если передняя поверхность канавок параллельна оси фрезы ($\lambda_{m0} = 0$), этот угол профиля

сохраняется и на задних затылованных поверхностях зубьев. У фрез с винтовой канавкой при $\lambda_{m0} \neq 0$ для получения требуемого угла профиля в нормальном сечении углы профиля задней поверхности затылованных зубьев фрезы должны быть изменены. На рис. 3.50 штрихпунктирными линиями 1 показан основной червяк; линией 2—передняя поверхность зубьев фрезы; ее пересечение с основным червяком определяет профиль режущей кромки 3 (штриховая линия на верхней проекции); через точки режущей кромки проходят линии 4 задних поверхностей зубьев фрезы. Они расположены под углами α_{6L} и α_{6R} к линиям 1 основного червяка для образования задних углов. Пересечение линий 4 с осевой плоскостью 5 фрезы определяет сечение витка 6 фрезы и углы ее профиля α_{xL0} и α_{xR0} . Они получаются различными для правой и левой сторон зуба. Их значение зависит от положения передней поверхности (ее хода P_z) и задних углов (определяемых на оборот фрезы величиной Kz_0).

Углы профиля задних поверхностей в осевом сечении правозаходных фрез определяют по формуле

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xR(L)0} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{черв}} \mp \frac{Kz_0}{P_z}, \quad (3.41)$$

где — соответственно знак «—» для правой и знак «+» для левой сторон зубьев фрезы.

Углы профиля для фрез с $m=10$ и $\alpha=20^\circ$ получаются следующие:

Тип фрезы	1	2
d_{a0} , мм	180	150
γ_{m0}	$3^\circ 46'$	$4^\circ 39'$
α_{xR0}	$20^\circ 08'$	$20^\circ 10'$
α_{xL0}	$19^\circ 57'$	$19^\circ 58'$

Способ 2. Эвольвентный профиль основного червяка заменяют конволютным (прямолинейным в нормальном сечении), угол профиля которого равен углу профиля исходного контура. С увеличением угла подъема γ_{m0} витков основного червяка для уменьшения искажений рекомендуется увеличить угол профиля $\alpha_0 = \alpha_{\text{черв}} + \Delta\alpha$:

γ_{m0}	2	3	4	5	6	7
$\Delta\alpha$, °	0	1	1,5	2,5	4	6

При обоих способах максимальные отклонения незначительны, и для модуля 10 мм они не превышают 16—22 мкм.

Точность червячных фрез влияет на показатели плавности работы передачи и боковой зазор; кинематическая точность передачи определяется кинематической работой станка и жесткостью технологической системы.

Для правильного образования зубьев колеса необходимо обеспечить точность образующей поверхности режущих кромок — основного червяка относительно базовых поверхностей отверстия, а для этого необходимо обеспечить точность базирования фрезы в процессе ее эксплуатации (установки на зубофрезерном станке), при изготовлении, контроле и переточках.

ГОСТ 9324—80 установлено пять классов точности фрез: АА, А, В, С и D ориентировочно соответственно для колес степеней точности 7—11. Отверстие должно быть выполнено у фрез класса АА и А— по Н5, классов В и С— по Н6 и класса D— по Н7. В этом же ГОСТе указаны допустимые отклонения параметров фрез.

Усовершенствования конструкций червячных фрез направлены на повышение их работоспособности и стойкости, повышение срока службы, точности обработанных колес, упрощения технологии их изго-

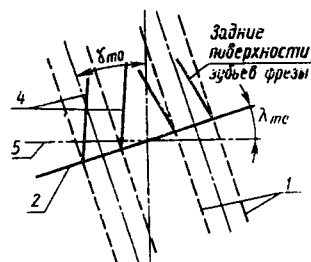
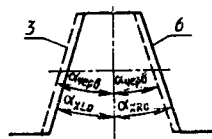


Рис. 3.50. Углы профиля задних поверхностей зубьев червячной фрезы

товления и обеспечения возможности применения в новых условиях ГПС. В основном усовершенствования происходят по следующим направлениям: экономия инструментальных материалов и применение новых; развитие сборных и составных конструкций; изменение схем резания на предварительных зубьях и схем резания и профилирования; улучшение геометрических параметров и др.

Сборные и составные конструкции фрез изготавливают с режущей частью из быстрорежущей стали, твердых сплавов и композитов. Сборные конструкции применяют с механическим креплением реек из быстрорежущей стали, отдельных зубьев из твердого сплава и зубьев с режущей частью из твердого сплава и оснащенные сверхтвердыми материалами. Основные виды конструкций сборных червячных фрез приведены на рис. 3.51. Их делают с рейками 1 или отдельными зубьями 2, устанавливаемыми в продольные пазы корпуса 3. Пазы и передние поверхности зубьев делают параллельными оси фрезы. Крепление реек или отдельных зубьев осуществляют различными способами: в пря-

моугольных точно выполненных пазах торцовыми гайками 4 с конической зажимной поверхностью (рис. 3.51, а), продольными клиньями 5 (рис. 3.51, б, в), с помощью клиновой формы посадочной части реек 6 (рис. 3.51, г) для крупномодульных фрез, торцовыми винтами 7 для крепления отдельных зубьев в пазах корпуса (рис. 3.51, д). При последнем способе крепления расположение режущих кромок в винтовой поверхности основного червяка обеспечивается прокладками 8 с последовательно изменяемой от рейки к рейке (от паза к пазу) шириной на $1/z_0$ осевого шага.

Распространены сборные конструкции с рейками (рис. 3.52), задние поверхности зубьев которых обрабатывают круглым шлифованием по цилиндрической поверхности радиусом $R_{ш}$ без затыловочных движений. Это осуществляют или в специальном приспособлении при смещенном положении реек относительно их рабочего положения (рис. 3.52, а, б) или в рабочем корпусе фрезы в положении, повернутом относительно рабочего (рис. 3.52, в, г). Крепление в требуемом поло-

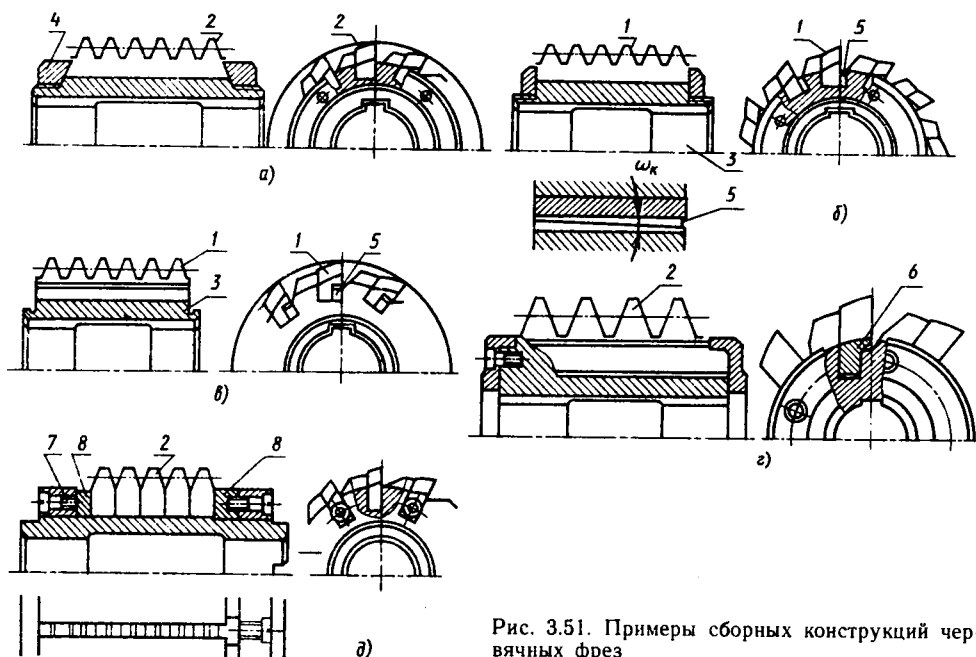


Рис. 3.51. Примеры сборных конструкций червячных фрез

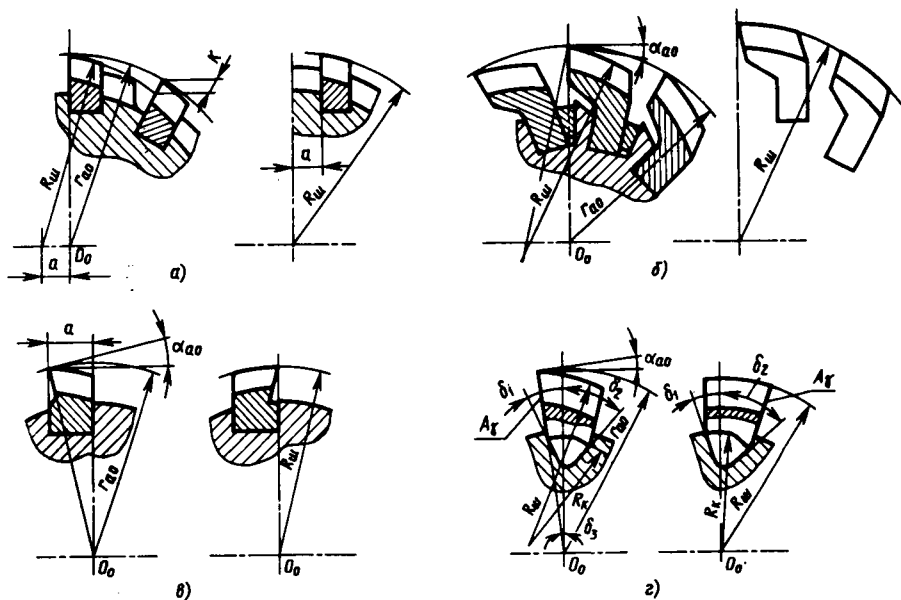


Рис. 3.52. Зубья червячных фрез, полученные без затылования

жении осуществляется кольцами радиусом R_k по дуговым поверхностям на торцах реек. Шлифование задних поверхностей без движений затылования менее трудоемко, так как отпадает необходимость создание второго затылка и появляется возможность увеличить число зубьев фрезы, увеличивается число переточек, повышается работоспособность фрезы. Восстановление режущих свойств зубьев (переточка) производится, как и у цельных фрез, по передней поверхности стружечных каналов.

Червячные фрезы составной и сборной конструкции оснащают режущими элементами из твердых сплавов и композитов [29] (рис. 3.53). Пластины из твердого сплава крепят непосредственно на зубья корпуса фрезы или на вставках (промежуточных элементах), закрепляемых в корпусе. Пластины крепят различными методами: пайкой, приклеиванием или другими способами.

Фрезами, оснащенными пластинами из твердых сплавов, с отрицательным передним углом γ_a до -30° (рис. 3.53, в) можно обрабатывать заготовки колес твердостью 60—62 HRC, заменяя тем самым

процесс шлифования. Для оснащения фрез применяют твердые сплавы Т15К6, ВК6-М и др.

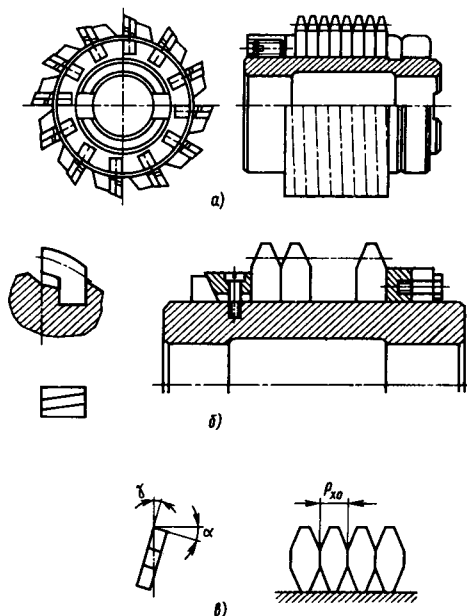


Рис. 3.53. Червячные фрезы, оснащенные пластинами из твердого сплава

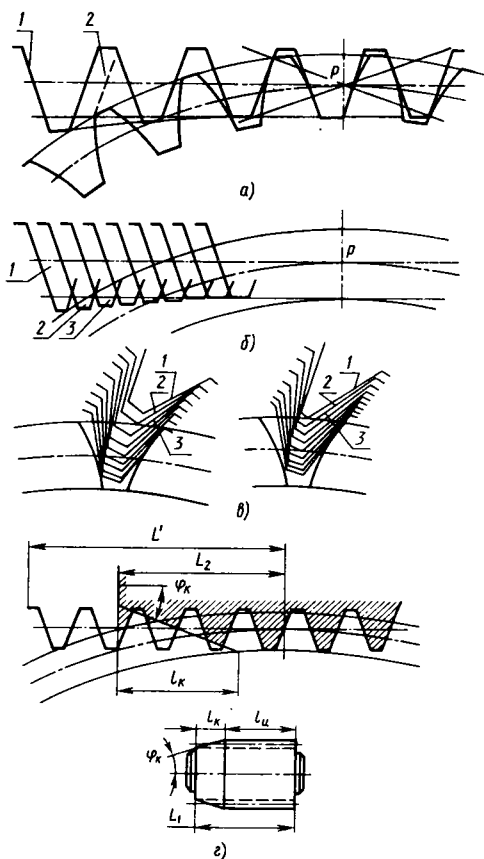


Рис. 3.54. Червячные фрезы с измененной схемой резания черновых зубьев

Схемы резания изменяют или только на черновых зубьях или на всех зубьях фрезы. На черновых зубьях это делают для перераспределения на них нагрузки, а также для уменьшения длины соответствующего предварительного участка фрезы. Размеры зубьев изменяют со стороны фрезы, вступающей в контакт с заготовкой. Применяют несколько различных видов конструкций. У одного вида зубья, находящиеся за крайним режущим зубом 2, вступающим в работу, увеличивают по высоте или по высоте и ширине (рис. 3.54, а). Благодаря этому вступают в работу ранее не работавшие зубья участка 1—2, что дает уменьшение нагрузки на крайние зубья (рис. 3.54, б). Размеры черновых зубьев

предварительного участка, постепенно изменяясь к профилирующему участку, принимают требуемые форму и размеры (рис. 3.54, б). Образование впадин зубьев колеса фрезами нормальной и рассматриваемой конструкции приведено на рис. 3.54, в. Предложено несколько схем построения таких фрез. Они получили название высокопроизводительных, их применяют в тяжелом машиностроении для обработки крупномодульных колес [42, 43].

У другого вида фрез наружную поверхность зубьев чернового участка с входной стороны делают конической (рис. 3.54, г), что позволяет уменьшить длину l_2 этого участка по сравнению с необходимой длиной L' фрез нормальной конструкции. Угол заборного конуса $2\varphi_k = 18...30^\circ$. Фрезы с заборным конусом применяют для нарезания колес больших диаметров и колес с винтовыми зубьями.

Фрезы должны быть точно установлены в определенном положении по длине, и передвижка их невозможна.

Схемы резания на всех черновых и профилирующих зубьях фрезы изменяют в конструкциях с чередующимися зубьями и при измененном угле профиля зубьев фрезы. В первом типе конструкций (рис. 3.55, а) зубья фрезы делают чередующимися: черновые и чистовые. Например, чистовые (четные) имеют нормальные требуемые размеры, а черновые (нечетные) — увеличенную высоту для разгрузки вершинной режущей кромки чистовых зубьев и уменьшенную ширину, оставляющую припуск по толщине образуемых зубьев для обработки следующими за ними чистовыми зубьями фрезы [27]. Рекомендуется увеличение высоты e_1 чернового зуба принимать равной наибольшей толщине срезаемого слоя вершинной кромкой зуба, наиболее удаленного от линии кратчайшего межосевого расстояния, а уменьшение толщины на сторону e_2 — равной максимальной толщине срезов боковой кромкой зуба. Например, для $m = 2...6$ мм увеличение высоты зуба фрезы $e_1 = 0,2...0,3$ мм и уменьшение ширины на обе стороны $2e_2 = 0,15...0,20$ мм.

Червячные фрезы с измененным углом профиля α_0 (рис. 3.55, б). Форма боко-

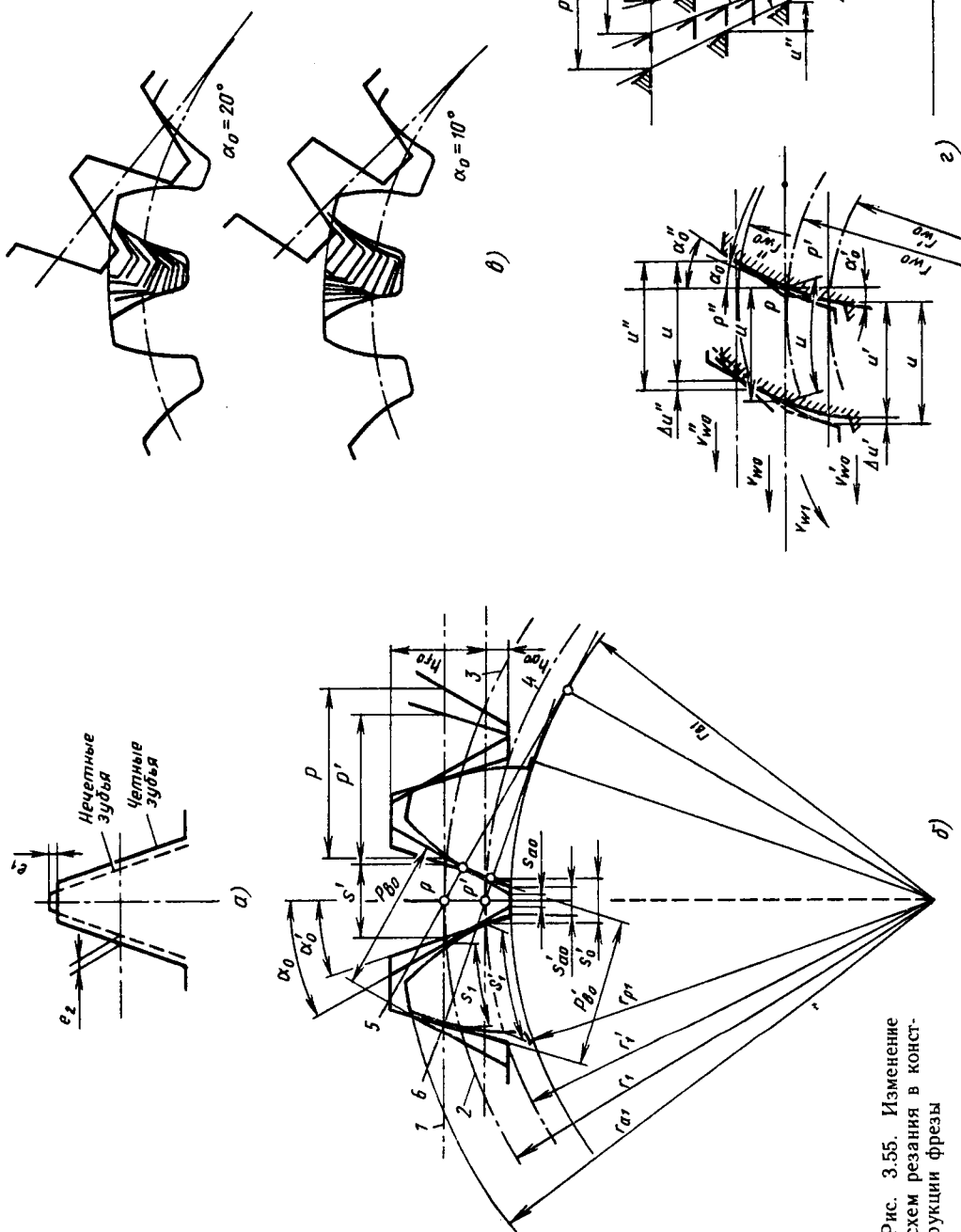


Рис. 3.55. Изменение схем резания в конструкции фрезы

вой стороны эвольвентного профиля зубьев колеса определяется диаметром d_{a1} основной окружности и может быть образована рейками с различными углами профиля. При изменении угла профиля рейки изменяется положение центроид: начальной прямой по высоте зуба рейки (положение 2 вместо положения 1) и начальной окружности (радиусом r'_1) обработки зубьев заготовки (положение 4 вместо положения 3), положение линии профилирования (положение 6 вместо положения 5) и полюса профилирования P' вместо P . При этом начальная прямая рейки перекачивается не по делительной окружности 3 колеса радиусом r_1 , а по дуге начальной окружности 4, радиус которой $r'_1 = r_1 \cos \alpha_1 / \cos \alpha'_1$.

В соответствии с этим изменяются размеры профиля зубьев фрезы; шаг p'_0 , толщина зуба s'_0 , высота его головки h_{a0} и ножки h_{f0} ; $p'_0 = 2\pi r'_1 / z_1 = \pi d'_1 / z_1$; $s'_0 = p'_0 - s'_1$; $h_{a0} = r'_1 - r_{f1}$; $h_{f0} = h_{a1} - r'_1 + c_{10}$, где s'_1 — толщина зуба колеса по новой начальной окружности, определяемая по (3.10).

Происходит перераспределение нагрузки между режущими кромками зубьев фрезы (рис. 3.55, в), изменяется активная длина линии профилирования, а в соответствии с ней необходимая длина чистовой части фрезы и числа профилирующих зубьев фрезы. Фреза теряет универсальность и может быть применена только для обработки определенного колеса, для которого она рассчитана.

При уменьшении угла профиля α'_0 центроида обработки приближается к окружности вершин, шаг зубьев p'_0 фрезы уменьшается, увеличивается активная длина линии профилирования g_{α} , необходимая длина профилирующего участка зубьев $l'_{пр}$, число профилирующих зубьев $z'_{пр}$ и, следовательно, число профилирующих резов, образующих поверхность зуба, увеличивается ширина s'_{ω} режущей кромки на вершине зуба, повышается стойкость фрезы, уменьшается высота f огранки профиля зубьев фрезы. Но при этом уменьшаются боковые задние углы, и для сохранения их значения применяют угловое затылование. Ввиду уменьшения огранки возможно уве-

личить число заходов фрезы. Применяют фрезы двухзаходные с углом профиля $\alpha'_0 = 14^\circ 30'$ и трехзаходные с углом профиля $\alpha'_0 = 8^\circ$. Увеличение угла профиля зубьев фрезы оказывает обратное влияние на конструкцию и условия работы фрезы, но при этом уменьшается необходимая длина профилирующей части фрезы.

Применяя фрезы с чередующимися углами профиля ($\alpha'_0 < \alpha_0$ и $\alpha'_0 > \alpha_0$), можно значительно уменьшить длину фрезы и даже свести ее к одному витку (рис. 3.55, г).

Фрезами с чередующимися зубьями и с уменьшенным углом профиля для повышения их работоспособности можно работать с передвижками вдоль оси фрезы.

У чистовых фрез режущие элементы могут быть расположены вдоль линии профилирования. Это позволяет уменьшить их размер и использовать для них режущие элементы малых размеров, например элементы из композитов.

Фрезы для внеполюсной обработки имеют уменьшенный угол профиля и даже равный нулю, режущие кромки таких фрез перпендикулярны к их оси (рис. 3.56). Эти фрезы состоят из двух половин с режущими кромками на зубьях для обработки правой и левой сторон зубьев

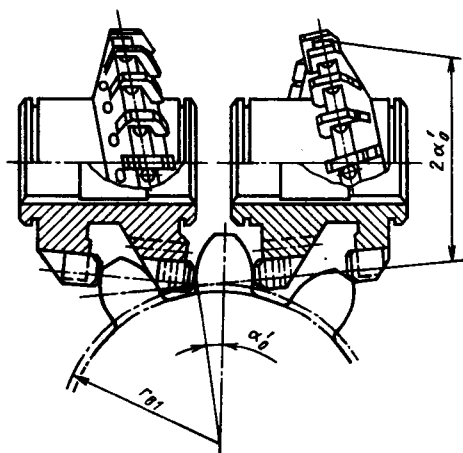


Рис. 3.56. Червячная фреза для внеполюсной обработки

колеса. Крайние внутренние кромки расположены на некотором расстоянии от полюса. Изменяя расстояния между частями фрезы, можно регулировать толщину полученных зубьев, что обеспечивает некоторую конструктивную гибкость. Червячная фреза, оснащенная пластинами из гексаниа, приведена в [28].

Червячные фрезы применяют в ГПС для обработки зубьев колес. При изменении параметров обрабатываемых колес производится автоматическая замена фрезы вместе с оправкой. Конструкция оправки позволяет ее быструю замену, надежное и точное крепление.

При увеличении числа заходов фрезы соответственно увеличивается скорость движения обката заготовки и уменьшается время нарезания зубьев. Однако при этом сокращается число профилирующих зубьев, увеличивается огранка, увеличивается угол установки оси фрезы и увеличиваются погрешности процесса обработки. Для уменьшения огранки число заходов фрезы не должно иметь общих множителей с числом зубьев фрезы и нарезаемого колеса.

Червячные фрезы для червячных колес. Зубья червячных колес обрабатывают так же, как и зубья цилиндрических зубчатых колес, при непрерывном движении обката заготовки и режущих кромок червячной фрезы; профилирование осуществляется методом огибания. Особенности условий работы и конструкции червячной фрезы определяются формой осевого сечения колеса. Зубья червячных колес в осевом сечении, проходящем через ось фрезы, имеют вогнутую глобондную форму (рис. 3.57, а).

В процессе нарезания зубьев колеса ось фрезы располагается в плоскости, перпендикулярной к оси заготовки, т. е. так же, как и ось червяка, находящегося в зацеплении с нарезаемым колесом. Фреза вдоль оси колеса не перемещается. Диаметральные размеры фрезы должны соответствовать размерам червяка. Так как проектируют червяки небольших диаметральных размеров для уменьшения размеров редукторов, то фрезы часто приходится делать не насадной, а хвостовой конструкции (рис. 3.57, б).

Заходность витков фрезы должна быть равна заходности витков червяка z_1 . Угол подъема витков фрезы определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_{m0} = z_1 p_{x0} / (\pi d_{m0}).$$

При малых диаметрах фрезы и большой заходности может быть γ_{m0} до 40° и более. При малых диаметральных размерах фрезы приходится принимать небольшое число ее зубьев, иногда нечетное.

Во избежание повторения положения режущих кромок на обработанной поверхности зуба колеса после его оборота число зубьев фрезы не должно быть кратным числу заходов и числу зубьев колеса и быть не меньше определенного числа в зависимости от требуемой точности колеса.

Конструкция режущей части этих фрез аналогична конструкции фрез для нарезания зубчатых колес.

Окончательно зубья колеса обрабатывают при межосевом расстоянии a_{02} , равном межосевому расстоянию a_{12} червячной передачи. Предварительное удаление материала впадины может осуществляться при радиальной и тангенциальной осевой подаче фрезы.

При радиальной подаче (рис. 3.57, а) вначале фрезу устанавливают на большее межосевое расстояние $a_{02} + \Delta a$, обеспечивающее положение цилиндра выступов фрезы за наружной поверхностью обрабатываемой заготовки. Затем при вращательных движениях фрезы и заготовки сближают их оси, сообщая радиальную подачу $D_{\text{спад}}$ до требуемого расстояния $a_{20} = a_{21}$. При тангенциальной подаче (рис. 3.57, б) в начале обработки ось фрезы устанавливают на требуемое межосевое расстояние, но смещают относительно оси заготовки. В процессе работы при вращении фрезы и заготовки фрезу перемещают вдоль ее геометрической оси; начальная прямая зубьев фрезы перемещается касательно к начальной окружности заготовки. При этом зубья фрезы образуют зубья заготовки. Для уменьшения нагрузок на первые зубья фрезы, вступающие в контакт с заготовкой, их наружную поверхность делают конической с углом $\varphi = 11 \dots 13^\circ$ на длине 2,5—3 шага.

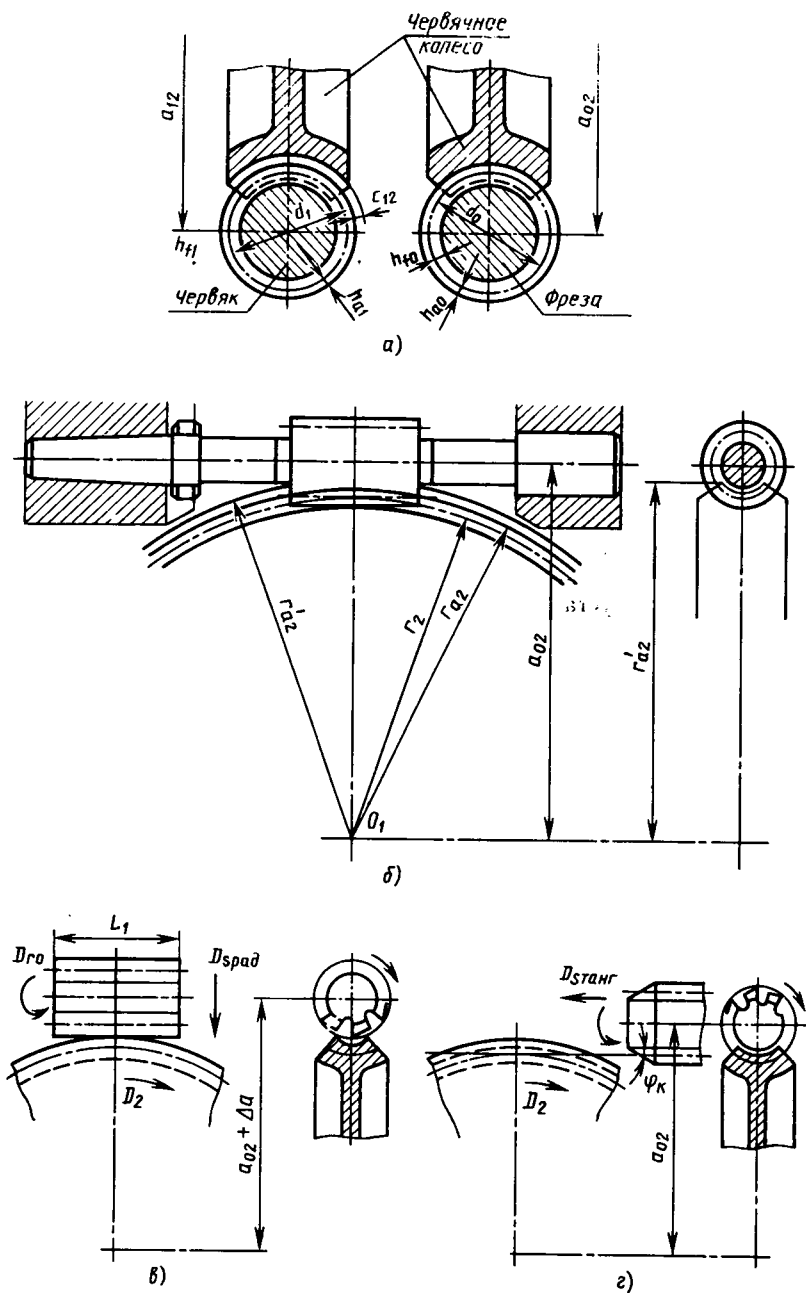
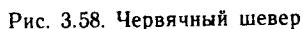


Рис. 3.57. Червячная фреза для обработки червячного колеса

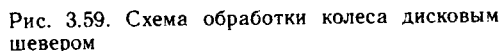
При переточках фрезы по передней поверхности изменяются ее диаметральные размеры и толщина зубьев по среднему диаметру. Для сохранения правильности

зацепления обработанного колеса с червяком или назначают размеры витков червяка в соответствии с фактическими размерами зубьев фрезы, или изменяют



Шеверы. Шеверы — многолезвийные инструменты, в виде зубчатого колеса или рейки с лезвиями на боковых сторонах зубьев; применяют шеверы для чистовой обработки боковых поверхностей зубьев колес. Для осуществления резания используют относительное скольжение меж-

Преимущества шевингования — увеличение точности зубчатого венца (на одну степень), получение высокого ка-



чества поверхностей зубьев, высокая производительность процесса обработки; применение шевингования зубчатых колес обеспечивает уменьшение их шума при работе. В основном шеверы применяют для обработки колес средних модулей преимущественно в массовом и крупносерийном производствах. Припуск на обработку по толщине зубьев колес средних модулей $\delta = 0,035 m$.

Шевингование осуществляется при свободном беззазорном зацеплении зубьев шевра и заготовки. Принудительное вращение сообщается шевру 1. Заготовка колеса 2, находясь с ним в зацеплении, свободно вращается на оправке, установленной в центрах (рис. 3.59, б).

Для обработки колеса по всей длине его зубьев один элемент пары (шевер или колесо) перемещается относительно другого, осуществляется продольная подача $S_{\text{прод}}$. На большинстве станков осуществляется продольная подача заготовки относительно шевра. В конце продольного хода сообщается радиальная подача $S_{\text{рад}}$ — сближение осей шевра и заготовки. Радиальная подача обеспечивает врезание режущих кромок шевра в обрабатываемую поверхность зубьев заготовки.

Окружная скорость на начальной окружности шевра из быстрорежущей стали $v_0 = 100 \dots 120$ м/мин, скорость продольной подачи $v_{s_{\text{пр}}} = 0,15 \dots 0,10$ мм/об заготовки, скорость радиальной подачи $v_{s_{\text{рад}}} = 0,02 \dots 0,04$ мм/дв.ход.

Шевингование обеспечивает в основном повышение нормы плавности работы колес и контакта их зубьев (допуск на погрешность профиля зубьев f_{fr} , отклонение окружного шага f_{ptr} , погрешность направления зубьев $f_{\beta p}$) и повышает качество боковой поверхности зубьев (уменьшается шероховатость). Хуже исправляются накопленная погрешность окружного шага F_{pr} и радиальное биение зубчатого венца F_{rr} .

Главное движение зубьев шевра — вращательное с окружной скоростью v_0 ; при его зацеплении с колесом последнему сообщается также вращательное движение со скоростью v_1 (рис. 3.59, з).

Контакт зубьев шевра и колеса теоретически точечный. Скорости (точки контакта) их зубьев в процессе зацепления в плоскости, перпендикулярной к боковым поверхностям зубьев, равны: $v_{N1} = v_{N0}$, а по поверхности зубьев в направлении скольжения возникают скорости v_{T1} и v_{T0} ; сумма или разность последних определяет скорость скольжения v_{s10} режущих кромок относительно обрабатываемой поверхности зубьев заготовки. $v_{s10} = v_{T1} \pm v_{T0}$, где знак «+» при одноименном направлении зубьев шевра и заготовки, знак «—» — при разноименном их направлении. На начальных цилиндрах $v_{T0} = v_0 \sin \beta_0$ и $v_{T1} = v_1 \sin \beta_1$, где β_0 и β_1 — соответственно углы наклона зубьев шевра и колеса. Учитывая, что угол скрепления осей шевра и колеса $\Sigma = \beta_1 \pm \beta_0$, получаем

$$v_{s10} = v_0 \cos \beta_0 [\operatorname{tg}(\Sigma - \beta_0) \pm \operatorname{tg} \beta_0] = v_0 \sin \Sigma / \cos \beta_1.$$

Угол Σ скрепления осей шевра и заготовки влияет на скорость резания (скольжения) и технологические условия процесса обработки. При увеличении Σ увеличивается скорость скольжения, улучшаются условия резания, но уменьшается площадка контакта зубьев шевра и колеса, ухудшается точность направления получаемых зубьев, сокращаются длина прохода и машинное время обработки. Практически установлено, что наиболее благоприятна $\Sigma = 15^\circ$, для обработки блочных колес при ограничении возможности свободного продольного хода шевра принимается $\Sigma = 5^\circ$.

Угол наклона зубьев шевра

$$\beta_0 = \Sigma \mp \beta_1. \quad (3.42)$$

Из возможных значений β_0 принимается меньшее.

При радиальной подаче шевра происходит врезание, углубление его режущей поверхности зубьев в обрабатываемую поверхность зуба заготовки. Площадка этого углубления (площадка контакта) имеет эллиптическую форму (рис. 3.59, в). В. Ф. Бабак определил значения большой

B и малой b полуосей площадки контакта:

$$B = v_B \sqrt{\frac{2S_{\text{рад}} \sin \alpha_{10}}{\frac{\sin^2 \varepsilon_0}{\rho_0} + \frac{\sin^2(\sigma - \varepsilon_0)}{\rho_1}}};$$

$$b = v_b \sqrt{\frac{2S_{\text{рад}} \sin \alpha_{10}}{\frac{\cos^2 \varepsilon_0}{\rho_0} + \frac{\cos^2(\sigma - \varepsilon_0)}{\rho_1}}}; \quad (3.43)$$

где v — коэффициент, учитывающий упругие деформации технологической системы соответственно по осям B и b . Для обычных условий работы при обработке заготовок из стали 45, 40Х коэффициент $v_b = 0,73 \dots 0,79$ и $v_B = 0,69 \dots 0,68$;

ε_0 — угол между прямолинейной образующей поверхности зубьев шевра и большой осью пятна контакта, его определяют по формуле; $\text{tg } 2\varepsilon_0 = \frac{\sin 2\sigma}{\cos 2\sigma + \rho_1/\rho_2}$; ρ_0 и ρ_1 — нормальные радиусы кривизны сопряженных поверхностей зубьев соответственно шевра и колеса; σ — угол между прямолинейными образующими сопряженных поверхностей зубьев шевра и колеса, $\sigma = \sigma_1 - \sigma_0$; $\text{tg } \sigma_0 = \text{tg } \beta_0 \sin \alpha_n$; $\text{tg } \sigma_1 = \text{tg } \beta_1 \sin \alpha_n$.

Площадка пятна контакта позволяет определить параметры и условия работы зубьев шевра: работающую длину и число режущих кромок, находящихся в контакте, и др.

По конструкции дисковый шевр есть цилиндрическое зубчатое колесо с винтовыми зубьями, на боковых поверхностях которых имеются канавки для образования режущих кромок (рис. 3.60).

В процессе окончательного образования зубьев колеса его зубья и зубья шевра должны зацепляться с одной и той же косозубой инструментальной рейкой. Поэтому у шевра и колеса в сечении, нормальном к направлению их зубьев, должны быть равны шаги ($p_{n0} = p_{n1}$), углы профиля ($\alpha_{n0} = \alpha_{n1}$), толщины зубьев шевра $s_{n0} = e_{n1} = p_{n1} - s_{n1}$ и высотные размеры зуба $h_{a0} = h_{f1} - c_{10}$ и $h_{f0} = h_{a1} + c_{10}$.

Диаметральные размеры шевра определяют в торцовом сечении, поэтому выше приведенные размеры должны быть пересчитаны в торцовое сечение делением на $\cos \beta_0$:

$$p_{10} = p_{n0} / \cos \beta_0; \quad m_{10} = m_{n0} / \cos \beta_0; \quad \text{tg } \alpha_{10} = \text{tg } \alpha_{n0} / \cos \beta_0. \quad (3.44)$$

Диаметр делительной окружности шевра

$$d_{10} = m_{10} z_0. \quad (3.45)$$

По ГОСТ 8570 — 80 установлены следующие номинальные диаметры d_{10} делительной окружности шевров: 85, 180, 250 мм. Принятый d_{10} должен удовлетворять следующим условиям: 1) возможности использования шевра на данном станке: $d_{10} = d_{\text{аост}} - (3 \dots 4) m_n$, где $d_{\text{аост}}$ — наибольший диаметр окружности вершин шевра, который может быть установлен на станке; $(3 \dots 4) m$ — удвоенная высота головок зуба шевра с учетом припуска на его переточку; 2) возможности обработки меньшего, предполагаемого к обработке зубчатого колеса, диаметр которого $d_{1\text{мин}}$; исходя из минимально допустимого межосевого расстояния $a_{10\text{ост}}$ шевр — заготовка по конструкции станка $d_{10} = 2a_{10\text{ост}} - d_{1\text{мин}}$.

По принятому d_{10} определяют число зубьев шевра:

$$z_0 = d_{10} / m_{10}. \quad (3.46)$$

При шевинговании каждая впадина зубьев колеса обрабатывается одним зубом шевра. При кратном числе зубьев

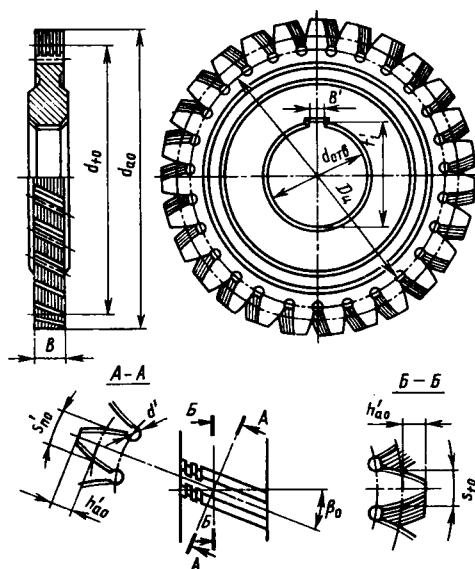


Рис. 3.60. Дисковый шевр

шевера и колеса может повторяться совпадение их зубьев в процессе обработки. Для того чтобы избежать совпадения контакта одних и тех же зубьев при следующих оборотах колеса, число зубьев шевера не должно иметь общих множителей (или по возможности меньше) с числом зубьев обрабатываемого колеса. Для соблюдения этого условия число зубьев нормализованных (стандартных) шеверов принимают из ряда первоначальных чисел: 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 61, 67, 73, 83 и только в одном случае 27 (для $m = 8$ мм).

По принятому числу зубьев определяют расчетный диаметр делительной окружности шевера $d_{10} = z_0 m_{10}$.

Дисковые шеверы делают насадной конструкцией. Диаметр отверстия назначают в соответствии с диаметром посадочной части шпинделя шевинговального станка. Нормализованы диаметры отверстий: $d_{отв} = 63,5$ мм для шеверов с $d_0 = 180$ и 250 мм и $d_{отв} = 31,75$ мм для шеверов $d_0 = 85$ мм. Для передачи крутящего момента в отверстие делают продольную шпоночную канавку.

Ширина шевера. Теоретически необходимая ширина шевера — длина его зубьев, определяется размером пятна контакта зубьев шевера и колеса и проекцией длины активного участка пространственной линии зацепления шевер — колеса. Положение участка контакта зубьев симметрично относительно линии кратчайшего межосевого расстояния, в процессе обработки он не перемещается по длине зубьев шевера. Необходимая по этому условию длина зуба невелика. Для обеспечения жесткости инструмента шеверы делают шириной больше, чем это теоретически необходимо. У стандартных шеверов принята ширина обода шевера $B = 15$ мм при $d_0 = 85$ мм, $B = 20$ мм при $d_0 = 180$ мм и $B = 25$ мм при $d_0 = 250$ мм. Ширину по ступице делают на 1 мм больше. Торцы ступицы для обеспечения точности базирования должны быть перпендикулярны оси отверстия; торцы обода могут быть выполнены с меньшей точностью; они разделены неглубокой канавкой.

Боковые поверхности зубьев шевера, на которых расположены режущие кромки, представляют собой эвольвентные вин-

товые поверхности. Боковые поверхности обеих сторон зубьев имеют одинаковые углы наклона β_0 и ход. Радиус их основного цилиндра

$$d_{b0} = d_{10} \cos \alpha_{10}. \quad (3.47)$$

Размеры и форма зубьев. Высота головки зуба шевера должна обеспечить полную обработку активной части профиля зуба колеса, поэтому ее делают несколько больше высоты головки зуба сопряженного колеса, но головка зуба шевера не должна обрабатывать дно впадины зуба колеса (рис. 3.61, а), т. е. $h_{a0фрезы}^* > h_{a0шевера}^* > h_{a0колеса}^*$.

Обычно для обработки колес с $h_{a1}^* = 1$ коэффициент высоты головки зуба шевера принимают равным 1,1, т. е. на 0,1 больше коэффициента высоты головки зуба сопряженного колеса. Затупившиеся шеверы восстанавливают шлифованием задних поверхностей зубьев. Новые шеверы проектируют с учетом припуска на переточку по толщине зуба и соответственно по головке зуба (рис. 3.61, б). По мере переточек смещение уменьшается. Коэффициент смещения x_0 нового шевера определяется припуском Δs на перешлифовку, т. е. увеличением толщины зуба в нормальном сечении на обе стороны.

Наибольшее смещение ограничено толщиной зуба $s_{na0нов}$ на окружности вершин. Для обеспечения прочности зуба необходимо, чтобы на его вершине оставалась перемычка p' (рис. 3.61, в) между стружечными канавками глубиной h_k , поэтому

$$s_{na0нов} > 2h_k \cos \alpha_{a0},$$

здесь α_{a0} — угол профиля зуба в точке на окружности вершин шевера.

Минимальное смещение ограничивается условием достаточной высоты ножки зуба после всех переточек. Для гарантии и улучшения качества боковой поверхности зубьев колеса минимальный диаметр окружности впадин шевера должен превышать диаметр его основной окружности не менее чем на 1—2 мм, поэтому $d_{f0min} \geq d_{a0} + 2$.

По этим условиям определяют значение и расположение припуска на переточку зубьев шевера. Обычно шеверы проектируют с расчетом на четыре — шесть переточек. При каждой переточке снимается

слой 0,05 — 0,07 мм, значение Δs на обе стороны зуба рекомендуется назначать: при $m=2...2,75$ мм $\Delta s=0,25$ мм, при $m=3$ мм $\Delta s=0,3$ мм, при $m=3,25...6$ мм $\Delta s=0,4$ мм.

У шеверов для обработки колес без смещения с $\alpha=20^\circ$ симметричное расположение припуска на переточку относительно теоретического расчетного размера удовлетворяет указанным выше условиям, и размеры зуба нового шевера в нормальном сечении (по дуге делительного цилиндра) равны

$$s'_{a0}=s_{a0}+\Delta s \text{ и } h'_{a0}=h_{a0}+\frac{\Delta s}{2} \frac{\operatorname{ctg} \alpha_0}{\cos \beta_0}.$$

У шеверов для колес со смещением исходного контура или углом профиля $\alpha \neq 20^\circ$ для удовлетворения поставленных условий приходится принимать несимметричное или даже одностороннее расположение припуска на переточку (рис. 3.61, з). После каждой переточки и уменьшения толщины зуба шевера должна быть соответственно изменена и высота головки зуба путем шлифования шевера по окружности вершин.

Режущие элементы и стружечные канавки. Для образования режущих кромок на зубьях шевера делают стружечные канавки, обычно в радиальном направлении (рис. 3.61, д). Канавки могут быть выполнены трех форм: прямоугольные со сторонами, параллельными торцу (рис. 3.61, е), и со сторонами, нормальными к направлению зуба (рис. 3.61, ж), и трапециевидной формы, одна сторона которых нормальна к направлению зуба, а вторая — параллельная торцу (рис. 3.61, з). Форма канавок влияет на значение переднего угла.

От шага канавок зависит число режущих кромок, находящихся одновременно в работе. Размеры канавки должны обеспечить помещение срезаемой стружки не только у нового, но и у переточенного шевера. По ГОСТ 8570 — 80Е для шеверов $m=2...8$ мм установлены следующие размеры канавок: $r_k=1,8...2,4$ мм, $h_k=0,6...1,0$ мм, $s_k=0,5r_k$.

Для возможности долбления на зубьях канавок в основании зуба необходимо обеспечить свободное пространство для

выхода долбежного резца. Для этого делают круглые отверстия в основании впадин зубьев, наклонно расположенные по отношению к оси шевера в соответствии с углом наклона зубьев. Такими делают шевера с $m>2$ мм. У шеверов меньших модулей канавки на зубьях делают сквозными, перерезающими зубья.

Геометрические параметры. Задние поверхности на зубьях шеверов образуют как эвольвентные винтовые поверхности с одним углом наклона, равным углу наклона зуба шевера. Поэтому инструментальные задние углы лезвий зубьев шеверов равны нулю. Кинематические задние углы образуются в процессе работы (рис. 3.62, а). На одних лезвиях задние углы имеют положительные значения, на других — отрицательные, последние лезвия уплотняют срезаемый слой материала с зубьев заготовки.

Передние углы имеют различные значения в зависимости от вида стружечных канавок. Если канавки перпендикулярны к направлению зуба (см. рис. 3.61, ж), передние углы у профилирующих кромок независимо от направления вращения шевера и направления подачи с обеих сторон зуба (рис. 3.62, б) равны нулю ($\gamma=0$). Если боковые стороны канавок параллельны торцу шевера (см. рис. 3.61, е), передние углы могут быть положительными или отрицательными в зависимости от направления вращения и продольной подачи. На практике применяют шеверы с обоими типами канавок.

Диаметр окружностей вершин и впадин определяют в зависимости от принятого значения припуска Δs на переточку. Диаметр окружности выступов нового шевера

$$d_{a0}=d_{j0}+2h_{a0}^*m_n+\Delta s' \operatorname{ctg} \alpha_{n0}. \quad (3.48)$$

Диаметр окружности впадин для переточенного шевера

$$d_{j0}=d_{j0}-2h_{j0}^*m_n-\Delta s'' \operatorname{ctg} \alpha_{n0}. \quad (3.49)$$

Диаметр отверстия для выхода долбежного резца при образовании стружечных канавок должен быть больше суммы ширины впадины e_{j0} по окружности впадин и удвоенной глубины канавок (см. рис. 3.61, б): $d' \geq e_{j0}+2h_k/\cos \beta_{j0}$.

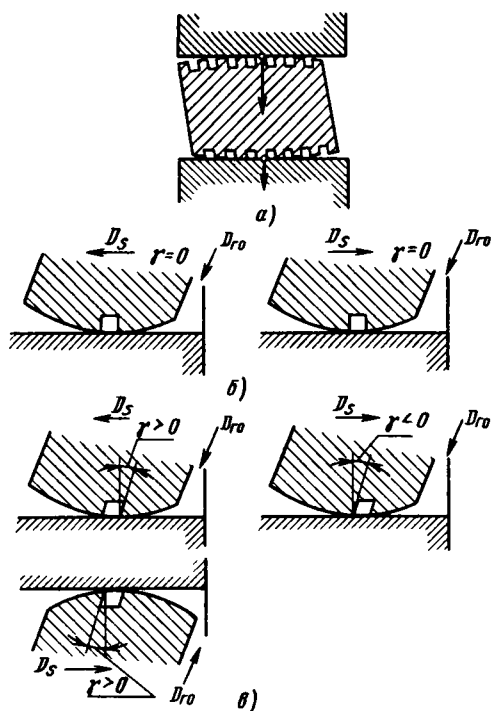


Рис. 3.62. Контакт зубьев шевера и колеса (а) и передние углы шевера (б и в)

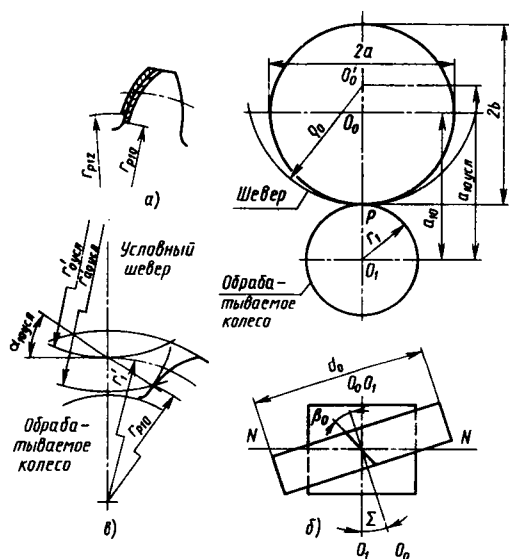


Рис. 3.63. Определение граничной точки зуба колеса при обработке шевером в плоском сечении зуба

Расчет шевера ведут по двум направлениям: определяют его геометрические размеры как зубчатого колеса со смещением исходного контура (этот расчет приведен выше) и пригодность разработанной конструкции шевера для обработки колеса. При этом определяют положения граничной точки участка профиля зуба колеса, правильно образованного шевером, и сравнивают ее положение с положением граничной точки рабочего участка профиля зуба колеса при зацеплении с парным колесом. Необходимо, чтобы $r_{p10} < r_{p12}$ (рис. 3.63, а).

Расчет может быть выполнен по одному из следующих вариантов: 1) упрощенный способ расчета зацепления шевера и колеса в плоском сечении, перпендикулярном к направлению зубьев с использованием эквивалентных зубчатых колес; 2) пространственный расчет зацепления колес с винтовыми зубьями при перекрещивающихся осях (разработан В. Ф. Романовым).

При первом методе рассмотрим условия зацепления прямозубчатого колеса и шевера в сечении $N-N$ (см. рис. 3.63, б), нормальном к направлению зубьев. Центроида колеса — начальная окружность радиусом r_1 , центроида шевера в сечении начального цилиндра наклонной плоскостью $N-N$ — эллипс с осями большой $2a$ и малой $2b$:

$$2a = d_{10}/\cos\beta_0; \quad 2b = d_{10}. \quad (3.50)$$

Область зацепления шевера и колеса находится у полюса P в точке пересечения эллипса с малой полуосью. Радиус кривизны эллипса в этой точке $\rho_0 = a^2/b = d_{10}/2\cos^2\beta_0$.

Для определения условий зацепления рассмотрим зацепление колеса с условным эквивалентным шевером, радиус делительной окружности которого равен радиусу кривизны эллипса в точке контакта (в полюсе P). Аналогично определяем размеры условных нового и переточенного шеверов. Радиусы последних точек участков профиля зуба колеса, правильно обработанных шевером, определяют с учетом полученных значений условного шевера (рис. 3.63, в):

$$r_{p10} = \sqrt{r_{\delta 1}^2 + (a'_{10\text{усл}} \sin \alpha'_{10} - \sqrt{r_{a0\text{усл}}^2 - r_{b0\text{усл}}^2})^2},$$

где $\alpha'_{10\text{ycl}}$ — угол зацепления в нормальном сечении с учетом припуска на переточку и условных радиусов шевера и колеса,

$$\text{inv } \alpha'_{10\text{ycl}} = \frac{\Delta s}{2(r_{0\text{ycl}} + r_{1\text{ycl}})} + \text{inv } \alpha_0,$$

здесь $r_{0\text{ycl}}$, $r_{1\text{ycl}}$ — радиусы начальных окружностей условного шевера и колеса соответственно; $a_{10\text{ycl}}$ — условное теоретическое межосевое расстояние, $a'_{10\text{ycl}} = r_{0\text{ycl}} + r_{1\text{ycl}}$.

Расстояние между осями условного шевера и колеса

$$a'_{10\text{ycl}} = r'_{0\text{ycl}} + r'_1 = a_{10\text{ycl}} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha'_{10\text{ycl}}}.$$

Необходимо, чтобы правильно обработанный участок профиля зуба колеса превышал рабочий участок профиля зуба при зацеплении с парным колесом, т. е. $r_{p10} < r_{p12}$. При нарушении этого условия следует изменить исходные параметры или припуск на переточку.

При втором методе расчета зацепление шевера и колеса в стадии профилирования рассматривают как зацепление колес с перекрещивающимися осями (рис. 3.64, а) [42, 45]. Линия зацепления определяется пересечением плоскостей P_0 и P_1 , касательных к основным цилиндрам шевера и колеса. Окончательное образование профиля зуба колеса происходит на длине активной части линии профилирования, касательной к основным цилиндрам шевера и колеса, и ограничивается окружностями вершин их зубьев. На рис. 3.64, б показаны условно совмещенные в одну плоскость торцовые сечения шевера и колеса и плоскость, проходящая через O_0O_1 и линию профилирования N_0N_1 . Длина активной части линии профилирования

$$g_{\alpha 10} = 0,5(\sqrt{d_{a0}^2 - d_{b0}^2} + \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}) - a_{w10} \sin \alpha_{nw},$$

где a_{w10} — межосевое расстояние шевера и колеса; $a_{w10} = d_{w0} + d_{w1}$; d_{w0} и d_{w1} — диаметры начальных цилиндров шевера и колеса:

$$d_{w0} = \frac{d_{b0}}{\cos \alpha_{w10}}; \quad d_{w1} = \frac{d_1 \operatorname{tg} \beta_{w1}}{\operatorname{tg} \beta_1},$$

α_{nw} — угол профиля шевера и колеса в нормальном сечении на начальных цилиндрах;

$$\cos \alpha_{nw} = \frac{d_{b1} + d_{b0}}{2a_{w10}},$$

β_{w1} — угол наклона винтовой линии зуба колеса на начальном цилиндре;

$$\sin \beta_{w1} = \frac{\sin \beta_{b1}}{\cos \alpha_{nw}},$$

α_{tw10} — угол профиля шевера на начальном цилиндре в торцевой плоскости [45];

$$\text{inv } \alpha_{tw10} = \frac{K}{1+M},$$

$$\text{где } K = \left(\frac{s_{n0}}{d_0 \cos \beta_0} + \text{inv } \alpha_{t0} \right) + \left(\frac{s_{n1}}{d_1 \cos \beta_1} + \text{inv } \alpha_{t1} - \frac{\pi}{z_1} \right) \frac{z_1}{z_0};$$

$$M = \frac{\text{inv } \alpha_{t1} \frac{z_1}{z_0}}{\text{inv } \alpha_{t0} \frac{z_1}{z_0}}.$$

Здесь s_{n0} и s_{n1} — толщины зубьев шевера и колеса в нормальных сечениях; α_{t0} и α_{t1} — профильные углы в торцевых сечениях; β_0 и β_1 — углы наклона зубьев шевера и колеса на их делительных цилиндрах.

Радиус кривизны эвольвентной поверхности зуба колеса в последней точке профиля зуба колеса, правильно образованного шевеком, т. е. граничной точке ее контакта с зубом шевера, определяется по формуле

$$\rho_{P10} = 0,5 \left(\frac{\sqrt{d_{w1}^2 - d_{b1}^2}}{\sin \gamma_{b1}} + \frac{\sqrt{d_{w02}^2 + d_{b0}^2} - 2\rho_{a0}}{\sin \gamma_{b0}} \right) \sin \gamma_{b1},$$

где ρ_{a0} — радиус кривизны эвольвентного профиля зуба шевера в точке на окружности его вершин;

$$\rho_{a0} = 0,5 \sqrt{d_{a0}^2 - d_{b0}^2},$$

γ_{b0} и γ_{b1} — углы подъема винтовых линий зубьев шевера и колеса на основных цилиндрах и γ_0 и γ_1 — углы подъема их на делительных цилиндрах;

$$\cos \gamma_{b0(1)} = \cos \gamma_{0(1)} \cos \alpha_n.$$

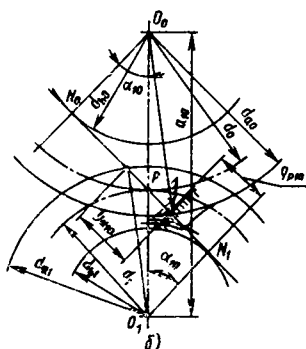
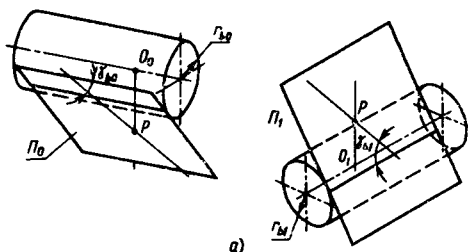
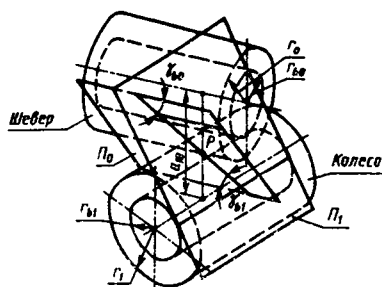


Рис. 3.64. Пространственный метод определения граничной точки при обработке шевером зубьев колеса

Радиус кривизны ρ_{p12} эвольвентной поверхности зуба колеса в граничной точке рабочего участка при зацеплении его с парным колесом определяют по формуле (3.9).

Для обеспечения правильного зацепления колеса, обработанного шевером, с парным необходимо, чтобы радиус кривизны ρ_{p12} профиля зуба колеса в граничных точках при зацеплении с парным колесом был больше, чем радиус кривизны ρ_{p10} при зацеплении с шевером: $\rho_{p12} > \rho_{p10}$ (рис. 3.64, б).

Для правильной обработки шевером колеса степень перекрытия e_γ должна быть не менее 1:

$$e_\gamma = \frac{g_{a10}}{\pi m_n \sin \gamma_{b1} \cos \alpha}.$$

При нарушении указанных условий необходимо изменить высоту головки зуба шевера, распределение припуска на его переточку.

Инструмент для обработки зубьев колес при шевинговании должен обеспечить рациональную форму припуска. Скольжение зубьев шевера по обрабатываемой заготовке, обеспечивающее процесс резания, происходит только на боковых сторонах зубьев. На вершине зуба (по окружности вершин) шевера скольжение отсутствует, поэтому ее нужно исключить из работы, уменьшить на нее нагрузку. Для этого припуск под шевингование уменьшают у окружности впадин заготовки колеса (рис. 3.65). Это обеспечивается соответствующим местным утолщением δ_1 на длине b_1 зубьев инструментов, предназначенных для обработки колес под шевингование. Утолщение равно припуску, оставляемому на шевингование.

Мелкомодульные шеверы имеют специфическую форму стружечных канавок. Шеверы с модулем $m < 2$ мм трудно, а при меньших модулях невозможно, сделать с долбленными канавками на боковых сторонах зубьев. Для образования режущих кромок их зубья прорезают сквозными канавками трапецевидальной формы (рис. 3.66). Канавки делают на шеверах с $m = 1 \dots 1,75$ с углом профиля 8° , шагом $p_k = 2,1 \dots 3$ мм, глубиной большей высоты профиля зуба $h_k = 3 \dots 5,6$ мм; ширина дна впадины $e_k = 0,8$ мм. Шеверы этой кон-

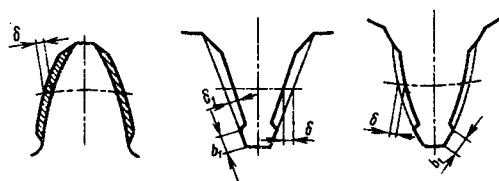
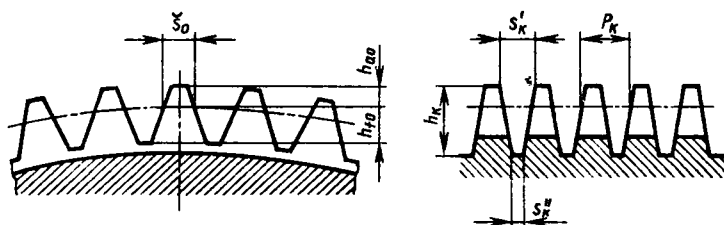


Рис. 3.65. Форма припуска зубьев колес под шевингование и инструмент для их обработки

Рис. 3.66. Зубья мелко-модульных шеверов



струкции имеют шлифованную не только заднюю поверхность зубьев, но и переднюю поверхность канавки, более качественные режущие кромки и, следовательно, лучшие режущие свойства. Их перетачивают путем шлифования канавки, что не требует специального оборудования.

Усовершенствование конструкций шеверов. Существуют следующие пути совершенствования конструкций шеверов и методов шевингования: повышение режущих свойств, стойкости и работоспособности инструмента и создание конструкций и методов шевингования, снижающих время и трудоемкость обработки, упрощающих кинематику процесса и конструкцию станка, создание шеверов с особой формой зубьев (бочкообразных).

Для повышения режущих свойств и работоспособности шеверов создаются кон-

струкции с режущими элементами из твердых сплавов, алмазные и из композита. Режущие элементы из твердых сплавов применяют в составных и сборных конструкциях. Составные конструкции с отдельными зубьями, закрепляемыми в корпусе пайкой, и сборные конструкции с отдельными зубьями, закрепляемыми механически клиньями или винтами (рис. 3.67, а, б), большого применения пока не получили.

Шеверы с режущим слоем из абразивных, алмазных и композиционных материалов делают составной конструкции (рис. 3.67, в). Обод делают с зубьями из этих материалов (аналогично шлифовальным кругам) или на металлические зубья корпуса наносят слои указанных материалов. Эти шеверы применяют для обработки термически обработанных колес с высокой

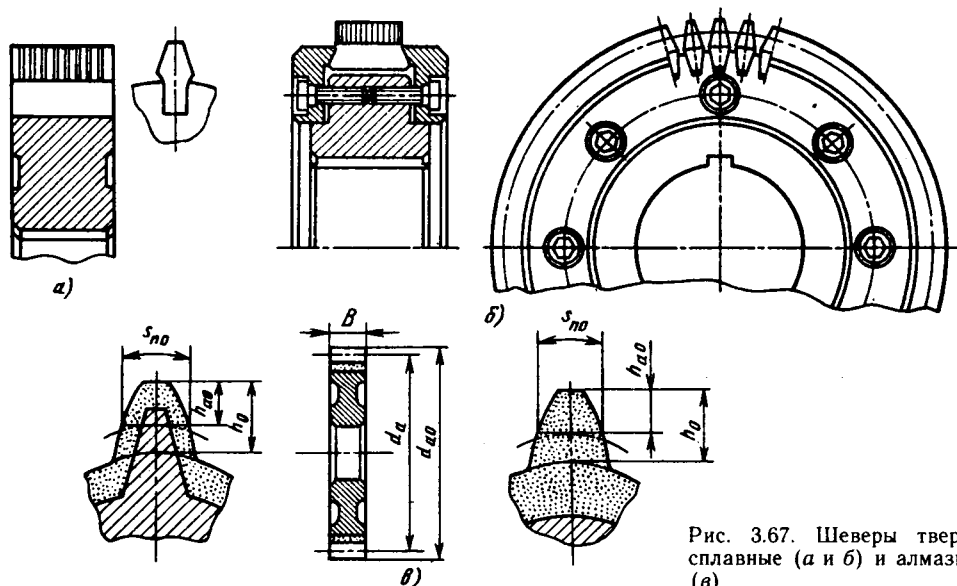


Рис. 3.67. Шеверы твердосплавные (а и б) и алмазные (в)

твердостью, для снятия заусенцев и устранения других пороков зубьев.

Для повышения производительности процесса шевингования созданы шеверы однопроходные и шеверы с измененным направлением подачи. Зубья однопроходных шеверов с одной стороны равномерно уменьшаются по толщине на длине около $2/3$ длины зуба шевера (рис. 3.68, а), образуя заборную часть. На остальной длине зубья имеют нормальный требуемый размер, они являются калибрующими и осуществляют окончательную обработку профиля зубьев колеса. Эти шеверы в процессе обработки не требуют радиального сближения осей шевера и колеса. Обработка производится за один двойной ход: при первом ходе коническая заборная часть зубьев производит предварительное удаление припуска, калибрующая часть при прямом и обратном

ходе производит окончательную обработку профиля зубьев колеса. Уменьшение толщины зубьев должно быть немного больше припуска на шевингование. Угол скрещивания осей равен Σ .

Шеверы с изменением направления подачи. При применении этих шеверов радиальная и продольная подачи совмещаются и заменяются подачей под определенным углом ϵ к оси обрабатываемой заготовки (рис. 3.68, б—е). При этом зубья шевера постепенно углубляются в обрабатываемую поверхность зубьев заготовки и производят их обработку. Линия кратчайшего межосевого расстояния a_{10} , в окрестностях которой происходит окончательное образование профиля зубьев колеса, перемещается по длине зубьев как заготовки, так и шевера из положения *I* в положение *II*. Это обеспечивает перемещение режущей части по длине зубьев шевера и вводит в работу все его режущие кромки. В соответствии с этим ширина B_0 режущей части шевера зависит от угла Σ скрещивания осей и угла подачи ϵ . В зависимости от угла ϵ определяют длину l необходимо-го рабочего хода:

$$B_0 = \frac{B_1 \sin \epsilon}{\sin(\epsilon \pm \Sigma)}; \quad l = \frac{B_1 \sin \Sigma}{\sin(\epsilon \pm \Sigma)}. \quad (3.51)$$

Шеверы этого типа называют шеверами для шевингования с угловой подачей при $0 < \epsilon < 90 - \Sigma$ (рис. 3.68, в и г), при $\epsilon = 90 - \Sigma$ — шеверами с минимальной подачей (рис. 3.68, д) и при $\epsilon = 90^\circ$ — шеверами с касательным направлением подачи (рис. 3.68, е). В последнем случае (при $\epsilon = 90^\circ$) не происходит смещения режущих кромок по длине зубьев заготовки. Поэтому режущие кромки (канавки) на зубьях делают смещенными по длине зуба. Последний метод может быть применен для обработки колес с бочкообразной продольной формой зубьев, для чего зубья шевера должны иметь соответствующую вогнутую форму в продольном направлении.

Дисковые шеверы применяют для обработки цилиндрических колес наружного зацепления, они могут быть также применены и для обработки колес с внутренними зубьями [45].

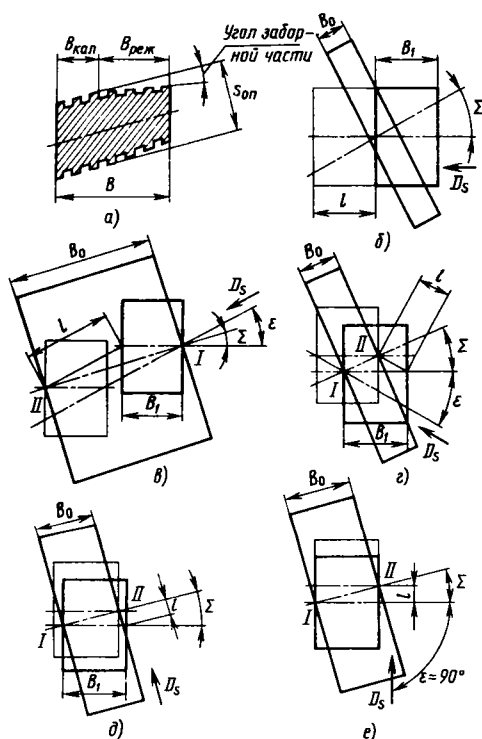


Рис. 3.68. Шеверы однопроходные и с измененным направлением подачи

§ 3.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

При образовании зубьев конического зубчатого колеса и определении их размеров используют принцип зацепления образуемого колеса с плоским производящим конусом (рис. 3.69, а), угол делительного конуса этого колеса $\delta = 90^\circ$, делительный конус лежит в плоскости. Этот принцип аналогичен образованию и определению размеров зубьев цилиндрических зубчатых колес при зацеплении с исходным контуром. Форма и размеры зубьев образуемого колеса определяются при качении его делительного конуса (центроида) по начальному конусу производящего колеса (его центриде) — движение D_w (рис. 3.69, б). При прямолинейном профиле зубьев производящего колеса зубья образуемого колеса приобретают эвольвентную форму. Производящее колесо воображаемое. Зубья пары сцепляющихся колес образуются с разных сторон контура произ-

водящего колеса; это обеспечивает их правильное зацепление как с контуром, так и между собой, при этом размеры зуба — шаг и толщина зуба в сечении, перпендикулярном к образующей делительного конуса, согласуются.

Образование зубьев некоторыми зуборезными инструментами, например зуборезными головками, может быть осуществлено на принципе зацепления его не с плоским, а с плосковершинным производящим колесом, тоже воображаемым, у которого в плоскости расположены вершины зубьев и образующие конуса ножек нарезаемого колеса (рис. 3.69, в).

При этом образование зубьев колес пары происходит не от одного производящего колеса, а от разных, с различным расположением делительных конусов, а следовательно, при различном положении и производящих профилей по отношению к дели-

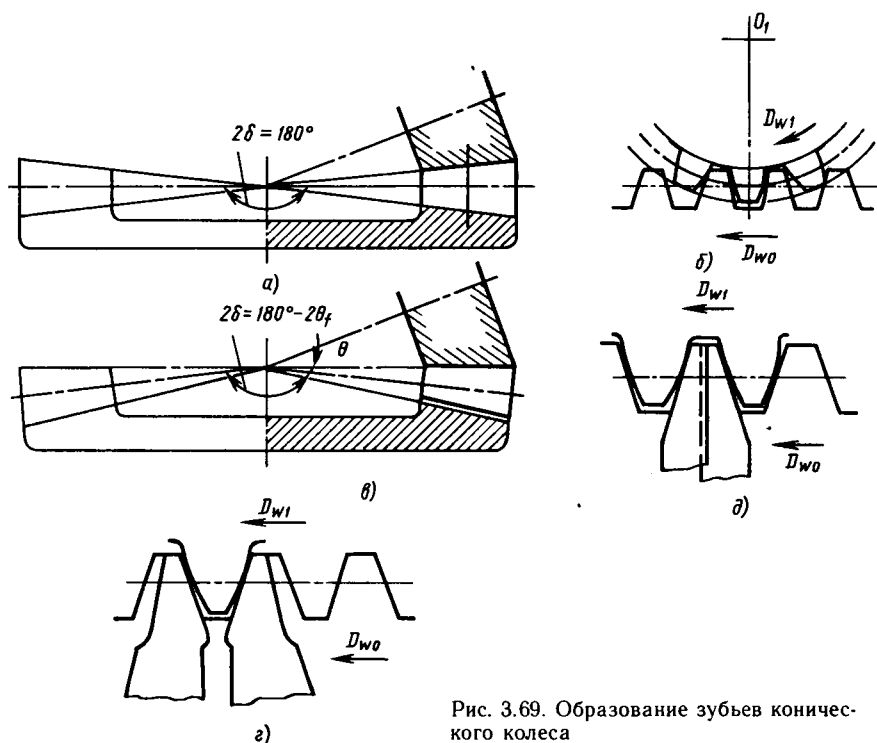


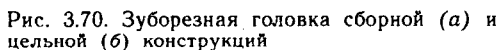
Рис. 3.69. Образование зубьев конического колеса

Инструменты при образовании зубьев копируют впадину исходного производящего колеса, например зубострогальные резцы (рис. 3.69,а), или его зуб — зуборезные головки (рис. 3.69,б).

Для образования зубьев криволинейной продольной формы наибольшее применение имеют зуборезные головки, продольная форма зубьев образуется по дуге окружности.

Главное движение D_r резцов головки 1 (рис. 3.71, а и б) вращательное вокруг ее оси O_0 не связано с обкатными движениями D_{w1} заготовки 2 и D_{w0} инструмента 1 (головки).

246



результате которых образуется методом огибания профиль зуба нарезаемого колеса (рис. 3.71, в). После образования одной впадины головка возвращается в первоначальное положение относительно заготовки, происходит поворот люльки без поворота заготовки, возобновляется про-

цесс обкатного движения заготовки и колеса и образование следующей впадины заготовки.

Конструкция зуборезной головки. Головки изготовляют различных конструкций в зависимости от назначения и размеров. Для нарезания колес средних и больших размеров применяют сборные головки (см. рис. 3.70, а) со сменными режущими элементами (резцами), для колес малых размеров — цельные головки (см. рис. 3.70, б).

Рассмотрим распространенную сборную двустороннюю головку для чистового нарезания круговых зубьев конических колес. В корпусе 1 головки дисковой формы в прямоугольных пазах (боковые стороны пазов параллельны оси головки) установлены резцы (см. рис. 3.70, а). Применяют двусторонние головки — с чередующимися наружными 2 и внутренними 3 резцами или односторонние головки — только с наружными или только с внутренними резцами в зависимости от назначения головки.

Режущие части резцов 2 и 3 выступают с торца корпуса головки; их режущие

кромки, образующие производящую инструментальную поверхность, расположены концентрично оси вращения головки.

Головку на шпинделе станка базируют с помощью конического или цилиндрического отверстия (последнее у головок больших диаметров). В торце головки расположены цилиндрические отверстия 8 для крепежных винтов; два резьбовых отверстия 9 для снятия головки со шпинделя станка (отжимные) и одно резьбовое отверстие 10 под винт с большой головкой для указания назначения головки после ее настройки на обработку определенного колеса.

Основным размером головки, характеризующим ее, является номинальный диаметр d_0 — диаметр окружности, проходящей через середину расстояния между вершинами наружных и внутренних резцов двусторонней головки. Ориентировочно у головок для колес с равнопонижающимися зубьями

$$d_0 = L / \sin \beta,$$

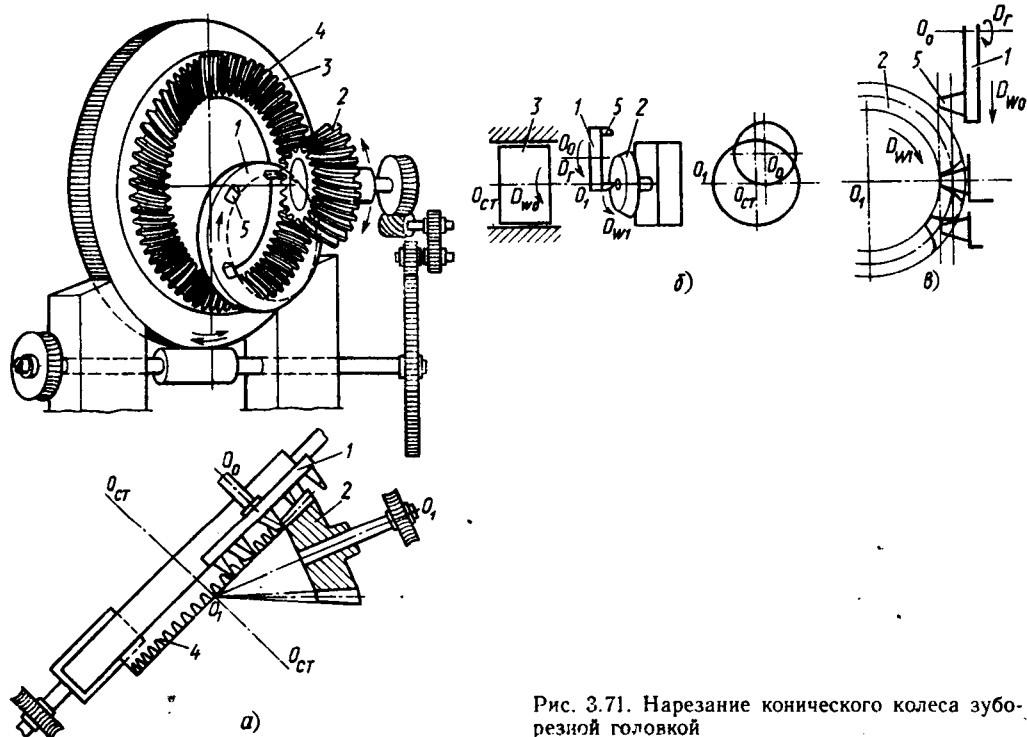


Рис. 3.71. Нарезание конического колеса зуборезной головкой

где L — длина образующей начального конуса до средней точки зуба; β — угол наклона зуба нарезаемого колеса в его средней точке.

Номинальные диаметры d_0 для цельных головок установлены (ГОСТ 11902—77) 20, 25, 32, 40, 50, 60, 80 мм, для сборных головок — 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 мм; посадочное отверстие коническое: при $d_0=20\dots125$, конусность 1:12, при $d_0=160\dots400$ мм конусность 1:24 мм или цилиндрическое при $d_0=500\dots1000$. Рекомендации выбора d_0 приведены в ГОСТ 19326—73.

Настроечными рабочими размерами головок являются: диаметры: образующие наружные d_{0e} и внутренние d_{0i} , развод резцов W , размеры профиля режущей кромки K : высота профиля h_0 и углы профиля наружных α_{0e} и внутренних α_{0i} резцов, ширина вершины резца s_{a0} , диаметры: производящие наружный D_{enp} и внутренний D_{inp} и др.

Развод резцов W (рис. 3.70, в) — расстояние между вершинами наружных и внутренних резцов, определяет ширину дна впадины у нарезаемого колеса; диаметры образующие наружные d_{0e} и внутренние d_{0i} — диаметры окружностей, проходящие через вершины соответственно наружных и внутренних резцов, при симметричном расположении резцов

$$d_{0e} = d_0 + W; d_{0i} = d_0 - W.$$

Производящие диаметры наружный D_{enp} и внутренний D_{inp} определяют кривизны продольной формы нарезанных зубьев колеса в сечении делительным конусом; условия контакта сопряженных зубьев колес пары в средних точках по длине зубьев определяются величинами

$$D_{enp} = d_{0e} + 2h_{f1} \operatorname{tg} \alpha_{0e}; D_{inp} = d_{0i} - 2h_{f1} \operatorname{tg} \alpha_{0i},$$

где h_{f1} — высота ножки зуба нарезаемого колеса.

Регулирование (настройка) d_{0e} , d_{0i} , D_{enp} и D_{inp} производится сменными подкладками 4 (грубая регулировка) и клиньями 5 (точная регулировка) с помощью винтов 6 (см. рис. 3.70, а). Закрепление резцов после регулировки и установки размеров осуществляется винтами 7.

Конструкция чистовых наружных и

внутренних резцов приведена на рис. 3.72 (а и б). Крепление и базирование их в пазах головки осуществляются с помощью хвостовика прямоугольного сечения.

Плоскость хвостовика резца, обращенную к оси головки, называют базовой. Рабочая (режущая) часть резца имеет трапецидальную форму с двумя режущими кромками боковой (рабочей, профилирующей) и на вершине резца; вторая боковая сторона головки резца в работе не участвует.

Режущие кромки резцов прямолинейные. Они расположены под углами к базовой плоскости α_{0e} у наружных резцов и α_{0i} — у внутренних резцов.

Расстояние от базовой плоскости резца до пересечения режущих кромок боковой и расположенной на его вершине, называют базовым расстоянием наружного b_{0e} и внутреннего b_{0i} резца.

Резцы предназначены для образования зубьев колес определенного интервала размеров. Высота режущих кромок h_0 резца должна превышать наибольшую высоту зуба по большему диаметру колеса, для которых предназначается резец. Ширина вершины резца s_{a0} (рис. 3.72, в) должна быть больше половины ширины дна впадины $e_{l\max}$ со стороны большего внешнего торца нарезаемых колес и меньше ширины $e_{l\min}$ дна впадины со стороны меньшего внутреннего торца колеса данного интервалов размеров: $0,5e_{l\max} < s_{a0} < e_{l\min}$.

Задняя поверхность резца со стороны режущей кромки имеет круговую форму и затылочана для образования задних углов α_{a0} . Передняя поверхность — наклонная для образования передних углов в поперечном γ_{0n} и радиальном γ_{0p} направлениях.

Полученные при обработке форма и размеры зубьев колес должны обеспечить правильное зацепление последних с производящим плоским колесом, необходимые шаг, поперечную и продольную формы зуба (углы профиля α_n и наклона зубьев β_n), кривизну зуба. Эти условия обеспечиваются как конструктивными параметрами (конструктивными элементами) головки и настройкой, так и рабочим

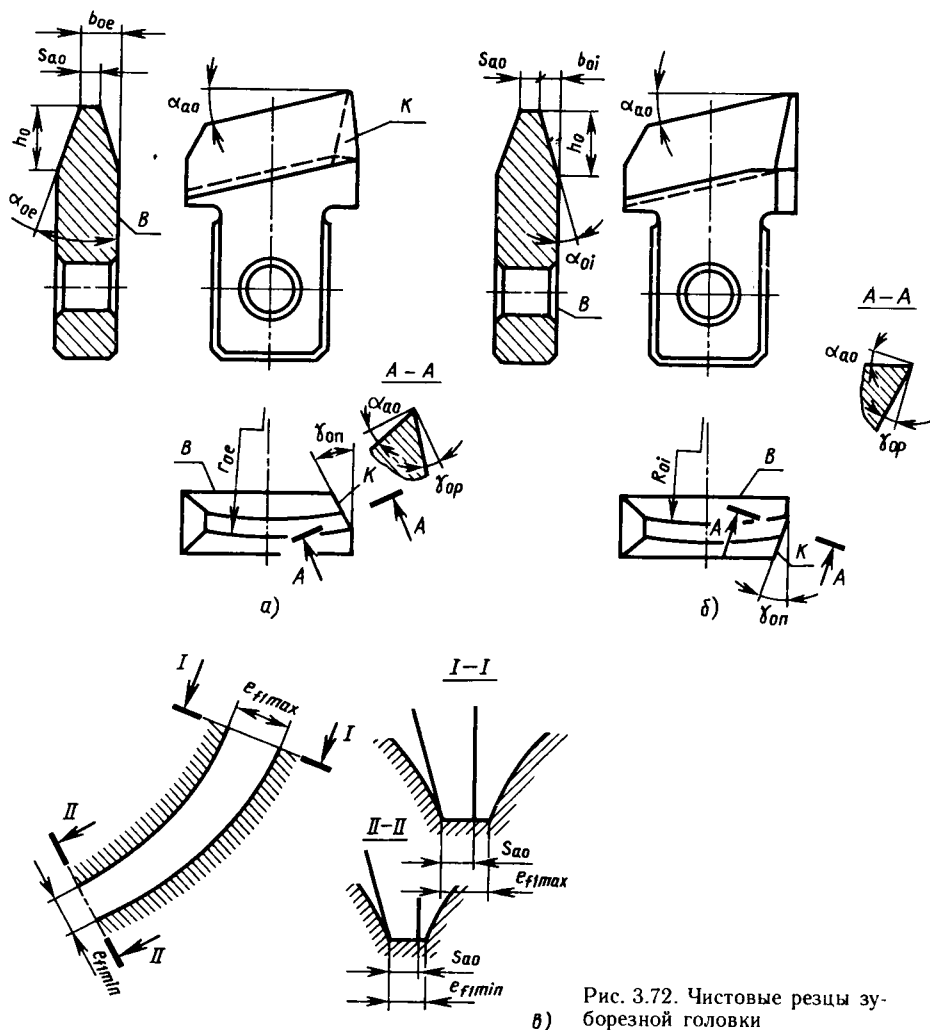


Рис. 3.72. Чистовые резцы зуборезной головки

положением головки на станке (люльке) и кинематикой станка.

Теоретически контакт сопряженных зубьев колес должен быть в средней точке зуба на делительном конусе или смещен немного в сторону меньшего диаметра колеса (рис. 3.73,а), пятно контакта должно быть сплошным и располагаться вдоль делительного конуса, иметь определенные размеры по длине и высоте зуба; недопустимы кромочное касание по бокам зубьев и смещение пятна контакта с делительного конуса — диагональное касание. Это обеспечивается соотношением величин производящих диаметров резцов

головок. Угол наклона зуба β_n определяется положением оси головки на люльке относительно нарезаемого колеса.

При нарезании зубьев конического колеса ось головки должна быть перпендикулярна дну впадины, т. е. образующей конуса ножек колеса (рис. 3.73,б); производящая инструментальная поверхность соответствует зубу плосковершинного колеса; инструментальные углы профиля режущих кромок резцов определяются также относительно оси головки — перпендикулярно к конусу ножек нарезаемого зубчатого колеса.

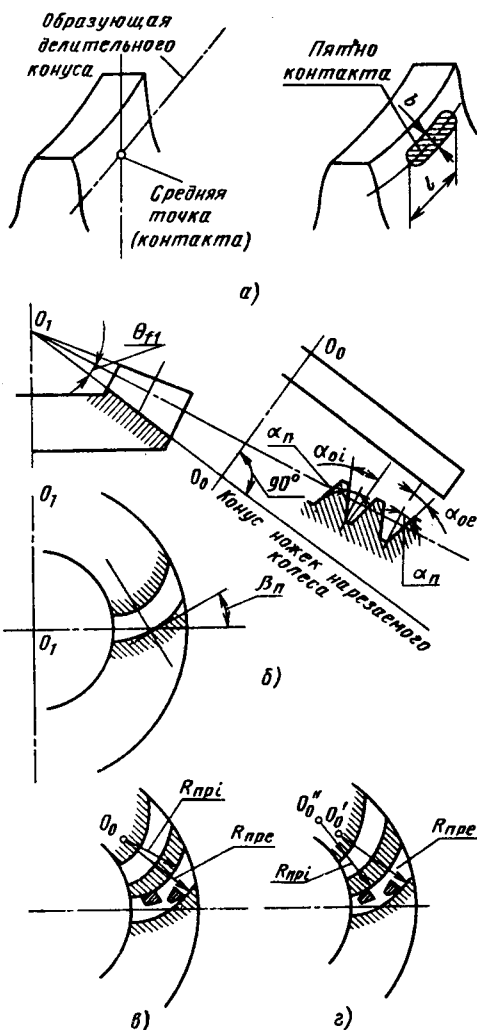


Рис. 3.73. Определение правильного образования зубьев колес зуборезной головкой

Для обеспечения правильного зацепления пары колес их зубья должны иметь углы профиля, равные углам профиля плоского производящего колеса, определяемым относительно перпендикуляра к делительному конусу. Из-за этого инструментальные углы внутренних и наружных резцов отличны от углов профиля нарезаемых колес (находящихся в зацеплении). Это отличие зависит от угла конуса ножек нарезаемого колеса θ_{f1} (угла установки оси головки) и угла β_n наклона зубь-

ев нарезаемого колеса по делительному конусу в средней точке зуба (см. рис. 3.73,б).

Угол профиля наружных резцов α_{oe} должен быть меньше угла профиля плоского производящего колеса α_n (угла зацепления), и угол профиля внутренних резцов α_{oi} больше:

$$\alpha_{oe} = \alpha_n - \Delta\alpha_{oe}; \quad \alpha_{oi} = \alpha_n + \Delta\alpha_{oi}.$$

Значения $\Delta\alpha_{oe}$ и $\Delta\alpha_{oi}$ должны быть различными для колес пары, но практически коррекция угла профиля одинакова, и ее определяют по следующей приближенной формуле:

$$\Delta\alpha = \pm \frac{\theta_{f1} + \theta_{f2}}{2} \sin \beta_n.$$

Градация изменения углов профиля $\Delta\alpha = 10'$; отличие угла профиля резца от номинального обозначается номером резца:

$$\Delta\alpha = N \cdot 10', \quad N = \pm \Delta\alpha / 10'.$$

ГОСТ 11902—77 устанавливает следующие номера чистовых резцов: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 30, 36, 42 и номера черновых резцов: 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24.

Зуборезные головки бывают праворежущие и леворежущие. Это определяется в зависимости от направления главного движения при взгляде со стороны переднего торца. Рабочее движение праворежущих головок против часовой стрелки.

Составные резцы головок делают с рабочей частью из быстрорежущей стали или с пластинами из твердого сплава, закрепленными по задней поверхности резца.

Способы нарезания колес головками. При применении двусторонних головок одновременно образуются обе стороны впадины зубьев (рис. 3.73,в). Впадины получаются одинаковой постоянной ширины по всей длине, что приводит к резкому изменению толщины зуба нарезаемого колеса по его длине и сказывается на его прочности. Этот способ наиболее производительный, но менее точный и рекомендуется для обработки колес невысокой точности до модуля $m = 3$ мм в серийном производстве.

Односторонние головки применяют для получения только одной стороны зуба.

Вторая сторона зуба изготавливается головкой с резцами другого вида при изменении установки относительно обрабатываемой заготовки (рис. 3.73,г). Это позволяет получить впадину с изменяемой шириной по ее длине; в результате зубья получаются более равномерно изменяющейся толщины и большей прочности. Способ нарезания колес односторонними головками менее производителен, чем двусторонними, но обеспечивает более правильную форму зубьев; его применяют для обработки колес точных передач. Применяют также способ нарезания двусторонними головками зубьев большого колеса и односторонними — малого колеса.

Разработано много способов нарезания колес головками, они описаны в специальной технической литературе [14, 45 и др.].

Совершенствование конструкций зуборезных головок происходит по следующим направлениям: уменьшение числа различных наладок и повышение точности регулирования положения режущих кромок и настройки, увеличение точности и жесткости крепления резцов, образование не впадин, а самих зубьев резцами охватывающего типа и др.

Кроме односторонних и двусторонних головок находят применение трехрезцовые головки. У них дополнительно к внутренним и наружным резцам имеются резцы для предварительной обработки дна впадины, облегчающие работу профилирующих внутренних и наружных резцов.

Для нарезания колес требуется большое число различных головок и их наладок, резцов, подкладок и других сменных деталей. Для сокращения их количества применяют, например, однономерные головки, головки для полуобкатных передач, головки протяжного типа и др.

Получающиеся при этих методах отклонения в профиле зубьев большого колеса компенсируют соответствующим изменением профиля зуба малого колеса пары. Нарезание зубьев меньшего колеса производят с неравномерно изменяемой скоростью обкатного движения — с ускорением или замедлением при образовании определенных участков по высоте зуба (модификацией обкатного движения).

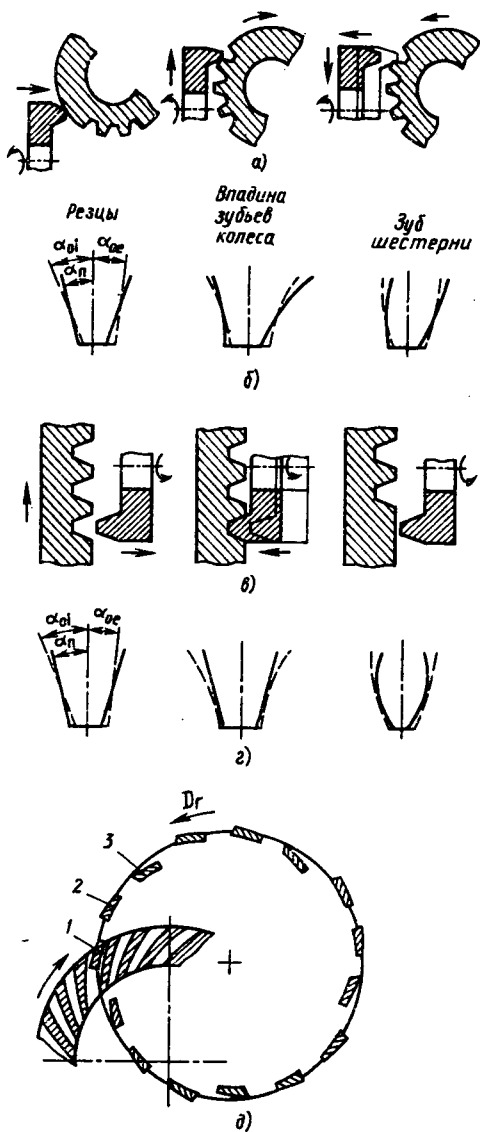


Рис. 3.74. Образование зубьев конических колес различными видами головок

У однономерных головок применяют резцы одного номера — одного угла профиля. Отклонения профиля зубьев большого колеса от эвольвенты получаются различными по обеим сторонам впадины (рис. 3.74,а и б).

Головки для передач полуобкатного типа образуют впадину зубьев большого колеса только при движении подачи по

высоте впадины (параллельно оси головки) без обкатного движения (рис. 3.74, в). Профиль впадины получается симметричный прямолинейный с равными углами профиля с обеих ее сторон (рис. 3.74, г). После образования одной впадины головка отводится от заготовки, производится поворот колеса (деление) и повторяется цикл образования следующей впадины.

Головки протяжного типа. При применении головок протяжного типа производится непрерывное обкатное движение, что обеспечивает автоматическую последовательную обработку без возвратных поворотов колеса и люльки с головкой. Резцы 1, 2, 3 и их режущие кромки расположены не концентрично оси головки, а по спирали с шагом, равным шагу зубьев нарезаемого колеса (рис. 3.74, д). Резцы прямолинейного профиля обеспечивают подачу режущих кромок по высоте или по боковым сторонам. Применение головок этого типа позволяет повысить производительность обработки и упростить конструкцию и кинематику станка.

Для повышения точности положения резцов их крепят наклонно расположенными винтами (рис. 3.75, а) или клиньями (рис. 3.75, б).

Инструменты для нарезания прямоугольных конических колес. Для нарезания

прямоугольных конических колес применяют зубострогальные резцы, дисковые фрезы, фрезы-протяжки, наиболее употребительные из них зубострогальные резцы.

Первые два вида инструментов работают с использованием принципа обкатного движения, профиль зубьев получается методом огибания на принципе зацепления с плоским производящим колесом. Резцы 1 и 2 (рис. 3.76, а) в процессе рабочего движения резания перемещаются вдоль образующей зуба — главное движение D_1 , и обрабатывают зуб 3, копируя впадину производящего колеса (см. рис. 3.69, г). Дисковые фрезы в процессе нарезания колеса копируют зуб производящего колеса, образуют впадину нарезаемого колеса (см. рис. 3.69, д).

Зубострогальные резцы и фрезы работают в паре для обработки правой и левой стороны зуба или впадины.

Конструкция зубострогального резца приведена на рис. 3.76, б. Его базовая часть имеет угловую форму (угол 73°) в соответствии с базовыми поверхностями станка. Режущая кромка прямолинейная. Высота h_0 режущей кромки и ее ширина s_{a0} на вершине резца определяются так же, как и у резцов зуборезных головок. Резцы имеют в плоскости, нормальной к режущей кромке, инструментальный передний угол $\gamma_n =$

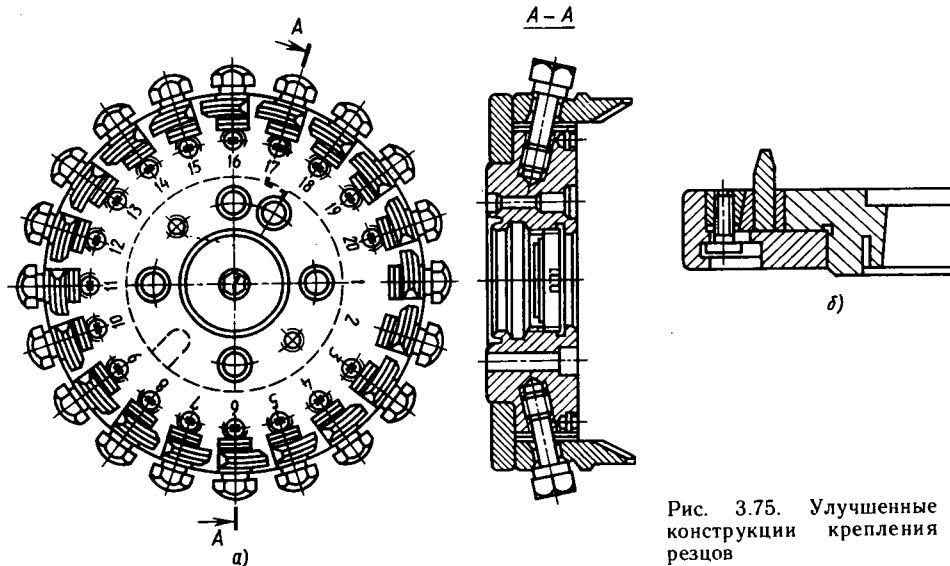


Рис. 3.75. Улучшенные конструкции крепления резцов

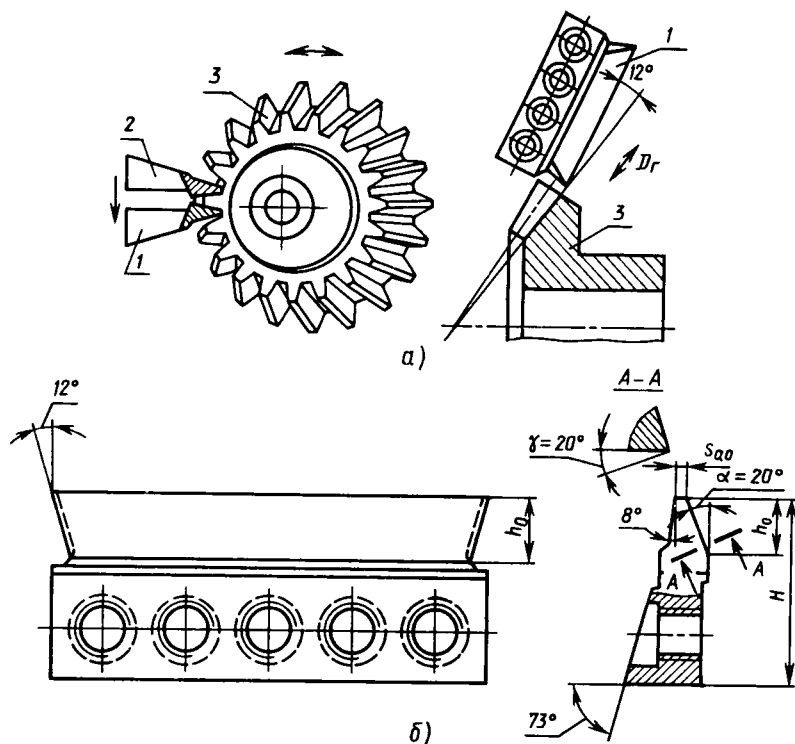


Рис. 3.76. Резцы для нарезания зубьев прямозубого конического колеса

$=10...20^\circ$, у стандартных резцов $\gamma_n = 20^\circ$; инструментальный задний угол $\alpha_n = 0$. Статический задний угол на профилирующей режущей кромке $\alpha_c = 4^\circ 10'$ образуется при установке базовой поверхности резца под углом 12° . Размеры резцов установлены (ГОСТ 5392—80) четырех типов для модулей $m = 0,3...20$ мм.

Дисковые фрезы по конструкции аналогичны одноугловым фрезам. Профилирующая кромка (рис. 3.77, а) находится на торцевой стороне зубьев фрезы. Дисковые фрезы 1 и 2 работают в паре для одновременного изготовления обеих сторон впадины зубьев. Оси фрез устанавливают под углом, соответствующим углу профиля нарезаемых зубьев. Стружечная канавка между зубьями фрезы делается увеличенной ширины для размещения в ней зубьев другой фрезы, которая образует другую сторону впадины зубьев. Оси фрез расположены под углом для образования конической продольной формы зубь-

ев. При нарезании колеса для обеспечения обкатного движения заготовка 3 вращается вокруг своей оси и поступательно перемещается относительно фрез. Фрезы не имеют продольной подачи вдоль нарезаемых зубьев, поэтому дно впадины получается вогнутой формы; этот метод пригоден только для нарезания колес с зубьями небольшой длины.

Фрезы-протяжки для прямозубых колес работают на другом принципе. На корпусе 1 инструмента дискового типа по периферии расположено несколько секций 2 с зубьями, имеющими фасонные режущие кромки, в существующих конструкциях — дуговые (рис. 3.77, б и в). При главном вращательном движении D_r инструмента происходит срезание стружки. Одновременно с вращательным движением инструмента происходит его перемещение в направлении обрабатываемой впадины, режущие кромки, последовательно вступающие в работу, образуют различные

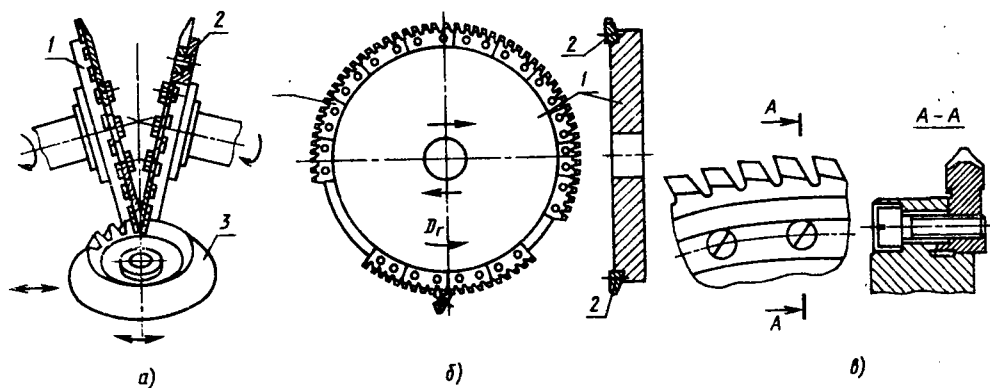


Рис. 3.77. Фрезы и круговая протяжка для нарезания прямозубого конического колеса

участки профиля впадины. В соответствии с формой образуемого участка впадины изменяют форму режущих кромок зубьев секций инструмента. Обработка каждой впадины производится в два рабочих хода — при прямом продольном ходе производится предварительное удаление материала, при обратном ходе — окончательная обработка впадины. После обработки одной впадины заготовка поворачивается на один шаг и производится обработка следующей впадины.

§ 3.4. ОБКАТНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Обкатные инструменты благодаря своим преимуществам (обеспечение высокой производительности, возможности автоматизации процесса обработки, точности получаемых поверхностей деталей) находят применение при изготовлении не только колес с эвольвентным профилем зубьев, но и деталей иной формы, зубчатого и незубчатого типа (рис. 3.78, а). Общие принципы работы обкатных инструментов рассмотрены выше; они справедливы и могут быть применены также и к инструментам для обкатной обработки любых поверхностей.

При проектировании обкатных инструментов необходимо выяснить возможность получения заданной поверхности заготовки с профилированием методом огиба-

ния (рис. 3.78, б). Для этого следует определить:

возможность построения сопряженного профиля режущей кромки инструмента для всех участков профиля детали;

возможность обеспечения режущих свойств у всех работающих участков режущей кромки — создания необходимых передних и задних углов;

технологичность конструкции инструмента и возможность восстановления его режущих свойств в процессе эксплуатации путем переточки, а также экономическую эффективность применения обкатных инструментов.

Для обеспечения возможности построения сопряженного профиля режущей кромки инструмента должны быть выполнены следующие условия:

А. В точках профилирования (окончательного образования требуемой поверхности детали) нормальная составляющая скорости подачи $v_{Sn}=0$; в точках профилирования режущая кромка и требуемая поверхность заготовки должны иметь общую касательную, а нормаль к ним — проходить через полюс профилирования (для этого необходимо, чтобы нормали к профилю детали пересекали центриду ее обработки, причем в определенном порядке, и не пересекались между собой от профиля до центриды во впадине детали).

Прямолинейный и круговой профили детали, приведенные соответственно на рис. 3.79, а и б, при положении 1 центриды получить профилированием методом оги-

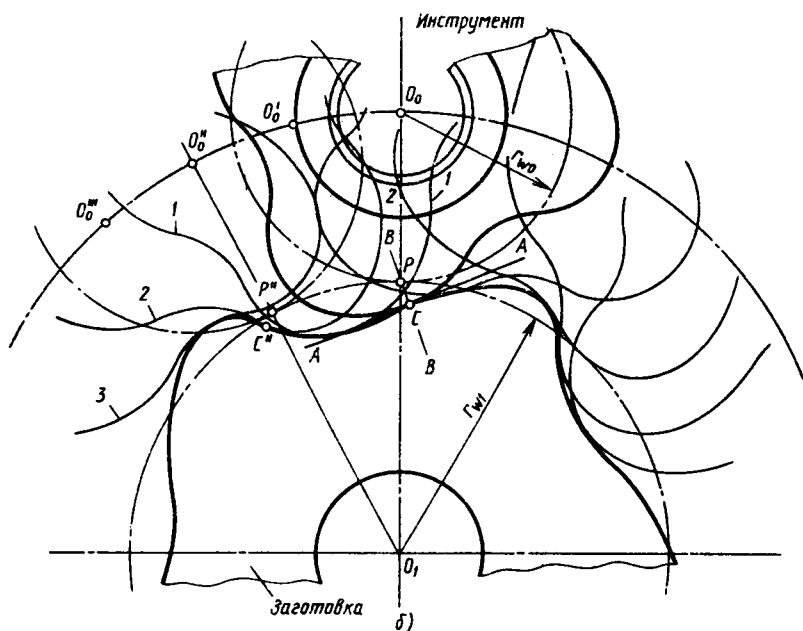
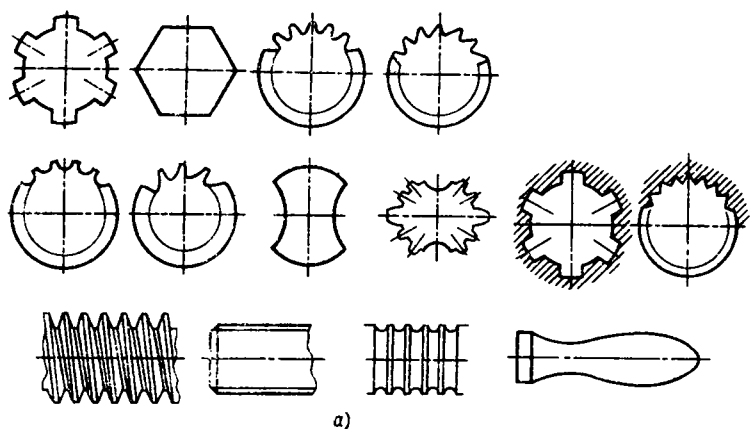


Рис. 3.78. Детали, обрабатываемые обкатными инструментами (а) и образование профиля детали методом огибания (б)

бания нельзя, так как выше точки *В* профильные нормали не пересекают центроиду; при увеличении радиуса центриды (положение *II*) профильные нормали пересекают центроиду и обработка становится возможной. При положении *III* центриды нормали кругового профиля пересекаются до центриды во впадине детали, сопряженный профиль (огибающая) полу-

чится в теле заготовки (штриховая линия), и обработка невозможна. Это условие иногда необязательно для несоседних участков сложного профиля детали.

Б. Профиль режущей кромки инструмента должен быть достаточной высоты; режущие кромки инструмента обычно имеют большую кривизну по сравнению с требуемым профилем заготовки. Из-за

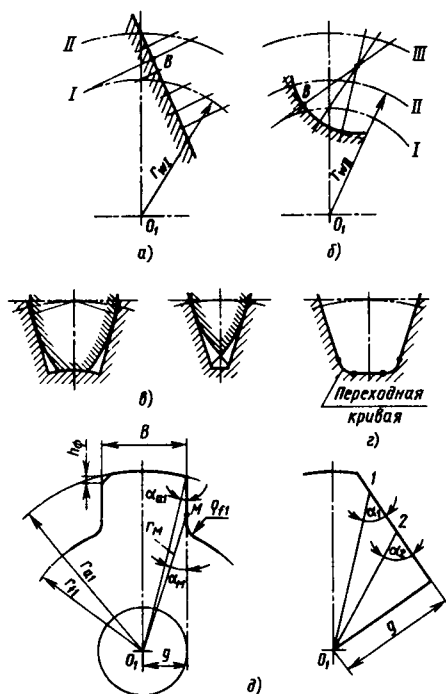


Рис. 3.79. Условия обработки профиля заготовки и размеры прямолинейного профиля детали

этого при обработке канавок или впадин зубьев, в особенности большой высоты (глубины) и малой ширины, профили режущих кромок правой и левой сторон зубьев могут пересекаться, уменьшив теоретически необходимую их высоту — зубья инструмента заострятся, в результате высота впадины получится меньше требуемой (рис. 3.79, в).

В. Переходные кривые, образующиеся в основании профиля заготовки, не должны превышать допустимую величину. При обкатной обработке с профилированием методом огибания в основании образованного профиля, как указано ниже, возможны участки, образованные не сопряженной режущей кромкой инструмента, а граничной ее точкой, так называемые участки переходной кривой (рис. 3.79, г). Они уменьшают высоту правильно образованного профиля заготовки. Для обработки заготовок без переходной кривой в основании профиля следует применить инстру-

менты с другими методами профилирования, о которых указано ниже.

Г. Все точки требуемого профиля детали должны иметь соответствующие сопряженные точки на линии профилирования — ее активном участке, который не должен выходить за пределы ее экстремальных точек относительно центроид инструмента и заготовки.

Обеспечение этих условий зависит не только от требуемой формы профиля детали, но и от формы и положения центроиды ее обработки.

Форма и размеры профиля детали. Невольвентные профили обычно образуются сочетанием прямых, дуг окружностей и иногда кривых других видов. Наибольшее применение имеют инструменты для обработки прямолинейных профилей.

Прямолинейный элемент профиля определяется положением граничных точек элемента (для деталей типа валов — окружностями вершин (наружной) и впадин (внутренней) — радиусы соответственно r_{a1} и r_{b1}) и углом профиля (рис. 3.79, д). Угол профиля α измеряется между профилем и радиусом, проходящим через рассматриваемую точку профиля. Величина угла профиля α изменяется по высоте профиля. Для прямолинейного профиля (детали типа валика) с центроидой — начальной окружностью справедливо следующее соотношение:

$$r_1 \sin \alpha_1 = r_2 \sin \alpha_2 = g,$$

где g — длина перпендикуляра из центра начальной окружности детали на профиль или его продолжение. Откуда

$$r_1/r_2 = \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1,$$

т. е. отношение радиусов двух каких-либо точек профиля обратно пропорционально синусам углов профиля этих точек.

Определение формы профиля режущей кромки. Профиль режущей кромки может быть определен различными пространственными и плоскостными методами.

Определение профиля режущей кромки инструмента является действием, обратным фактической обработке заготовки инструментом: находится поверхность (инструментальная), огибаемая требуемой поверхностью детали при перемещении за-

готовки относительно инструмента в процессе обработки. При этом необходимо обеспечить, чтобы ко всем точкам (участкам) огибающей поверхности имелись сопряженные точки (участки) у огибаемой (инструментальной) поверхности. Огибаемая поверхность должна соответствовать инструментальным поверхностям выбранного типа инструмента. Для обкатных инструментов характерны винтовые, цилиндрические и реечные инструментальные образующие поверхности.

Требуемая поверхность детали в общем виде винтовая (рис. 3.80). Она образуется кривой $L=f(r_M)$, расположенной в плоскости $X'O_1Y'$ и перпендикулярной оси детали. Кривая L образует винтовую поверхность, совершая вращательное и продольно-поступательно-винтовое движение с параметром $P=P_z/(2\pi)$ (P_z — ход винтовой поверхности). В системе координат $X'Y'Z'$ заданная винтовая поверхность определяется следующими уравнениями [45, 54]:

$$x' = r_M \cos \tau_M = r_M \cos(\sigma_0 + \theta_M + \delta);$$

$$y' = r_M \sin \tau_M = r_M \sin(\sigma_0 + \theta_M + \delta);$$

$$z' = P\delta,$$

где r_M — радиус-вектор рассматриваемой точки M образующей кривой профиля требуемой поверхности детали в сечении торцевой плоскостью; τ_M — полярный угол точки M , угол между радиусом-вектором точки M и осью O'_1X' подвижной координатной системы, связанной с заготовкой,

$$\tau_M = \sigma_0 + \theta_M + \delta;$$

σ_0 — угол между осью O_1X' и радиусом-вектором точки пересечения кривой заданного профиля с центроидой в его начальном положении; δ — угол поворота точки M для образования винтовой поверхности детали; θ_M — угол, определяющий положение точки M на кривой заданного профиля, между радиусами-векторами точек профиля начальной (на центроиде) и рассматриваемой.

Система координат $X'Y'Z'$ требуемой поверхности детали в начальном положении совпадает с неподвижной системой координат XYZ , оси O_1Z которых совпа-

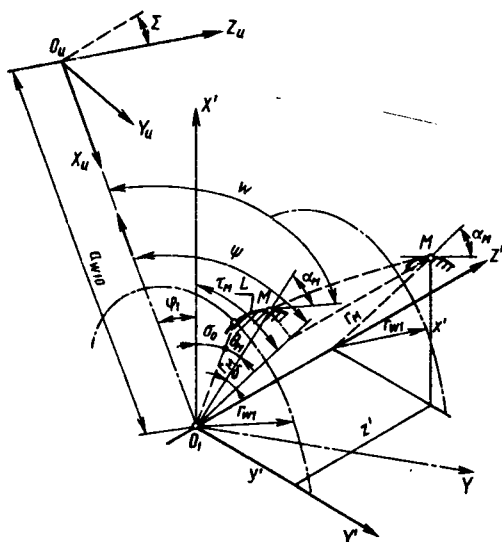


Рис. 3.80. Пространственная схема определения профиля режущей кромки инструмента

дают с осью заготовки. В процессе обкатного движения при вращении заготовки вокруг ее оси происходит поворот системы $X'Y'Z'$ относительно оси O_1Z неподвижной системы на угол φ_1 . В неподвижной системе координат требуемая поверхность детали определяется следующими уравнениями:

$$x = r_M \cos(\tau_M + \varphi_1); \quad y = r_M \sin(\tau_M + \varphi_1); \quad z = P\delta.$$

С инструментом, производящим обработку, связана система $X_uY_uZ_u$. Оси O_uX_u и O_1X' совпадают с линией O_1O_u кратчайшего межосевого расстояния заготовка — инструмент. В процессе обкатного движения, как указано выше, образуется полюс (ось) профилирования. Окончательное образование поверхности детали при обкатной обработке с профилированием методом огибания осуществляется в точках поверхности заготовки, в которых нормальная составляющая скорости подачи $V_{Sn}=0$. Этому условию, как показал Ю. В. Цвис, удовлетворяет поворот заготовки — системы $X'Y'Z'$ на угол φ_1 , определяемый из следующей зависимости [54]:

$$P\delta \sin \Sigma \sin(\tau + \alpha_M + \varphi_{\varphi 1}) + \\ + r_{\varphi 1} \frac{1 + \lambda}{\lambda} \cos \Sigma \cos(\tau + \alpha_M + \varphi_{\varphi 1}) -$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{r_M^2}{P} \sin \Sigma \cos \alpha_M \cos(\tau + \varphi_{w1}) = \\
& = r_M \left(\frac{1}{\lambda} \cos \alpha_M + \cos \Sigma \cos \alpha_M - \right. \\
& \quad \left. - \frac{r_{w1}}{P} \frac{1 + \lambda}{\lambda} \sin \Sigma \cos \alpha_M \right).
\end{aligned}$$

Величина φ_1 зависит от параметров требуемой поверхности детали: формы профиля торцового сечения, определяемого углом α_M между касательной к профилю в рассматриваемой точке M и радиусом-вектором этой точки; положения точки на профиле в торцовом сечении — величин r_M и τ_M ; поворота заданного профиля L заготовки вокруг оси O_1Z' — угла δ при перемещении рассматриваемого сечения и точки M в направлении O_1Z' , т. е. от параметров обработки — положения полюса профилирования P или центроида обработки заготовки (ее радиуса r_{w1}), положения и параметров инструмента — величины межосевого расстояния a_{w10} , угла скрещивания осей заготовки и инструмента Σ , соотношения размеров центроид — их радиусов r_{w1} и r_{w0} или угловых скоростей ω_1 и ω_0 обкатных движений — коэффициента $\lambda = r_{w1}/r_{w0} = \omega_0/\omega_1$.

Обработанная поверхность детали образуется инструментальной поверхностью — поверхностью, в которой при работе перемещаются режущие кромки инструмента. Для ее определения следует координаты поверхности профилирования $X_1Y_1Z_1$ при найденном значении φ_{w1} из неподвижной системы XYZ , связанной с осью заготовки, перевести в систему $X_nY_nZ_n$, связанную с инструментом, определить поверхность O . Применяя формулы перехода из одной системы в другую, в результате преобразований получаем

$$\begin{aligned}
x_n &= (x - a_{w10}) \cos \varphi_{w0} - (y \cos \Sigma - z \sin \Sigma) \sin \varphi_{w0}; \\
y_n &= (x - a_{w10}) \sin \varphi_{w0} + (y \cos \Sigma - z \sin \Sigma) \cos \varphi_{w0}; \\
z_n &= y \sin \Sigma + z \cos \Sigma.
\end{aligned}$$

Угол поворота инструмента φ_{w0} (системы $X_nY_nZ_n$) при повороте заготовки (системы $X'Y'Z'$) на угол φ_{w1} определяется как

$$\varphi_{w0} = \frac{z_1}{z_0} \varphi_{w1}.$$

Далее следует найти инструментальную поверхность, связанную с координатной

системой инструмента $X_nY_nZ_n$ из числа поверхностей, соответствующих рабочим поверхностям режущих кромок выбранного типа инструмента (в которых последние совершают рабочее движение обработки), касательных к огибаемой поверхности O . Это решается конкретно для каждого вида инструмента в зависимости от его рабочих движений и положения относительно обрабатываемой заготовки.

В общем виде форма режущей кромки определяется одним из следующих способов: 1) находим режущую кромку как линию следа сечения огибающей поверхности O передней поверхностью стружечной канавки инструмента; 2) выбрав определенную линию на поверхности профилирования, находим соответствующую ей линию контакта на поверхности O и, перемещая ее, учитывая конструкцию инструмента, по винтовой поверхности с осью O_nZ_n , совпадающей с осью инструмента, образуем инструментальную производящую поверхность. Полученную поверхность рассекаем передней поверхностью стружечной канавки инструмента. След их пересечения определяет форму режущей кромки. При некоторых конструкциях инструментов выбранная линия на поверхности профилирования соответствует режущей кромке (например, долбяки), и сообщать ей винтовое движение для определения режущей кромки не требуется.

Уравнение передней поверхности зависит от конструкции инструмента. Передними поверхностями могут быть плоскости, винтовые, конические, фасонные и некоторые другие поверхности.

Плоскостные методы профилирования более простые. Они могут быть применены при проектировании инструментов с прямолинейным главным движением при параллельных осях инструмента и заготовки или инструментов с вращательным главным движением при углах скрещивания осей инструмента и заготовки, близких к 90° .

Профиль режущей кромки может быть определен графическими, графоаналитическими и аналитическими способами.

Графические способы. Рассмотрим один из графических способов в приложении к

определению профиля инструмента с прямолинейной центроидой для получения детали прямолинейного профиля с центроидой в виде окружности.

В точке профилирования нормали к сопряженным профилям детали и режущей кромки инструмента должны проходить через полюс профилирования P . Вычерчивают (рис. 3.81) в рабочем положении центроиды детали и инструмента. От полюса P (точки касания их центроид) откладывают по центроиде детали равные дуги $d_n d_{n+1}$, по центроиде инструмента равные им отрезки $e_n e_{n+1}$: $Pd_1 = d_1 d_2 = d_2 d_3 = \dots = Pe_1 = e_1 e_2 = e_2 e_3 = \dots$. В точках d_n строят последовательные положения заданного профиля детали. Для упрощения построения при прямолинейном профиле следует провести вспомогательную окружность, касательную к профилю, проходящую через полюс P ; центр вспомогательной окружности (ее радиус

$r_{всп} = g$) совпадает с центром начальной окружности. Из полюса P опускают перпендикуляры на полученные последовательные положения требуемого профиля (на чертеже приведено построение для положения 4), точки пересечения перпендикуляров с профилем детали образуют линию профилирования (точки c_n). Перемещение точек профиля режущей кромки инструмента в обкатном движении происходит по прямолинейной траектории, параллельной начальной прямой. Поэтому при возвращении заданного профиля в начальное положение (профиль проходит через полюс P) начальная прямая и профильная нормаль должны переместиться на расстояние Pe_n , равное соответствующей ему дуге начальной окружности Pd_n . Профиль режущей кромки определится в точке b_n пересечения прямой, параллельной начальной прямой и проходящей через точку c_n , и прямой, параллельной про-

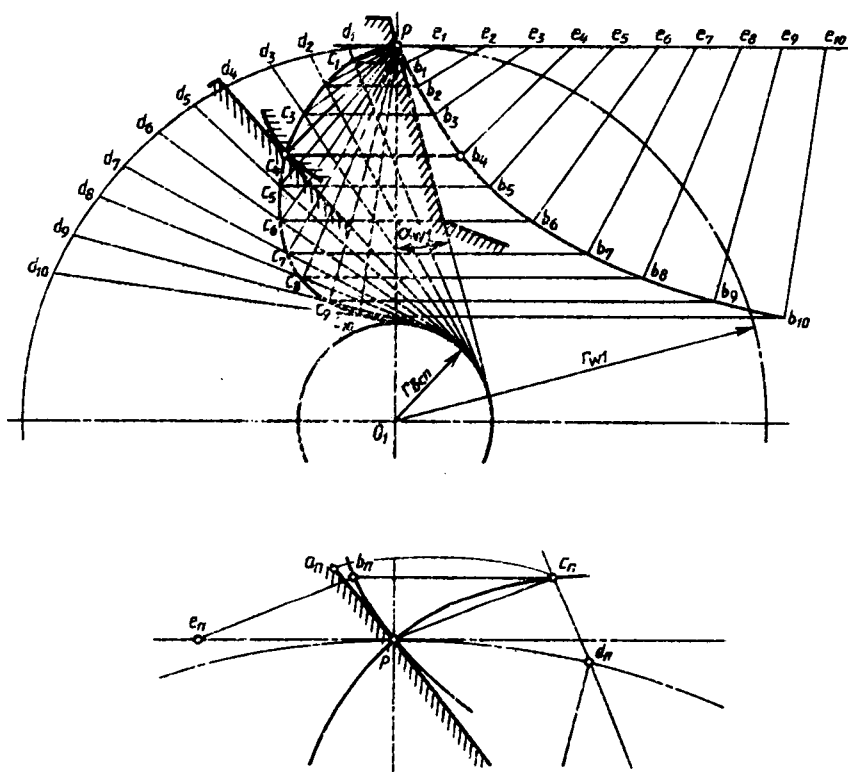


Рис. 3.81. Графический метод определения профиля режущей кромки инструмента

фильной нормали Pc_n и проходящей через соответствующую точку начальной прямой e_n . Линия, проходящая через аналогично определенные другие точки (b_n), является искомым профилем режущей кромки инструмента.

Графический способ последовательных положений, приведенный в работах [37, 42, 45], может быть использован для изучения условий работы инструмента, определения формы и размеров срезаемых слоев и их изменения в процессе обкаточного движения.

При графоаналитических способах сопряженный профиль определяют графически, как огибающую последовательных положений заданного профиля детали, а взаимное перемещение профилей находят путем аналитического расчета последовательных положений базовых точек, выбранных на заданном профиле в системе координат, связанной с искомым профилем инструмента [37, 42].

Аналитические методы рассмотрим в приложении к частному виду профиля — прямолинейному. Форму профиля, как и указано выше, определяем углом профиля α_{w1} и радиусом начальной окружности r_{w1} . Допускаемые возможные положения центроиды обработки находим, анализируя форму линии профилирования.

Линию профилирования (геометрическое место точек окончательной обработки

профиля заготовки) определим в прямоугольной неподвижной системе координат с началом в центре центроиды заготовки и осью ординат O_1y , проходящей через полюс профилирования P (рис. 3.82, а). Точка C контакта профилей режущей кромки и детали определяется профильной нормалью, проходящей через полюс P . Расстояние точки C от полюса P

$$PC = r_{w1} \{ \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1} \}.$$

Координаты линии профилирования

$$x_C = PC \cos(\varphi_1 + \alpha_{w1}) = r_{w1} \{ \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1} \} \cos(\varphi_1 + \alpha_{w1});$$

$$y_C = r_{w1} - PC \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) = r_{w1} \{ 1 - [\sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1}] \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) \}. \quad (3.52)$$

Полуветвь линии профилирования имеет три экстремальные точки относительно начальной прямой инструмента. Для их определения находим экстремальные значения y_C — ординаты линии профилирования из условия $\frac{dy_C}{d\varphi} = 0$; после преобразований получаем

$$r_{w1} \cos(\varphi + \alpha_{w1}) \{ 2 \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1} \} = 0.$$

Откуда получаем три значения углового параметра φ_1 , соответствующие экстремальным значениям y_C : $\cos(\varphi_1 + \alpha_{w1}) = 0$ и

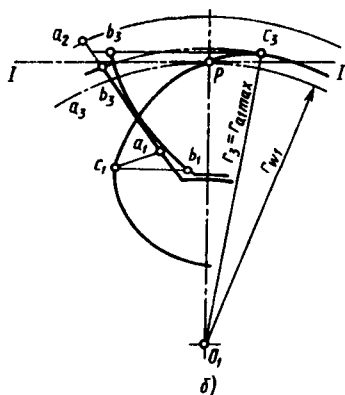
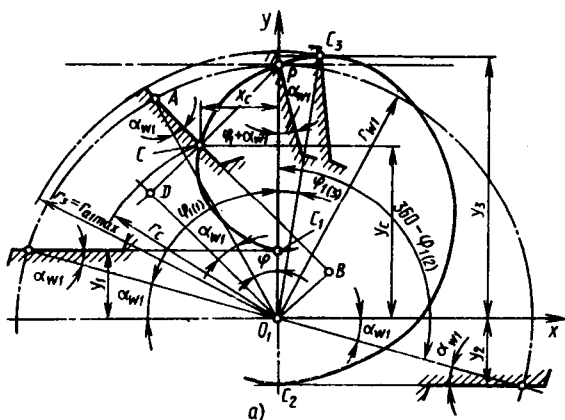


Рис. 3.82. Линия профилирования прямолинейного профиля заготовки (а) и сопряженные точки (б)

$\sin[\varphi_1 + \alpha_{w1}] = 0,5 \sin \alpha_{w1}$; первые два значения $\varphi_{1(1)} = 90^\circ - \alpha_{w1}$ и $\varphi_{1(2)} = 270^\circ - \alpha_{w1}$ (здесь и далее в индексе у φ_1 в скобках указан номер рассматриваемой точки) соответствуют минимуму y_C — точки C_1 и C_2 , третье значение $\varphi_{1(3)}$ — максимуму y_C — точка C_3 — граница активного участка линий профилирования, которая определяет максимальный радиус точки профиля детали, которую можно обработать:

$$r_3 = r_{a1\max} = \sqrt{x_C^2 + y_C^2} = r_{w1} \sqrt{1 + 0,75 \sin^2 \alpha_{w1}}.$$

Учитывая, что $r_{a1\max} \sin \alpha_{a1} = r_{w1} \sin \alpha_{w1}$, определяем минимально возможный радиус начальной окружности:

$$r_{w1} = r_{a1} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \alpha_{a1}}, \quad (3.53)$$

где α_{a1} — угол профиля детали на окружности радиуса r_{a1} .

Для того чтобы определить, какой точкой режущей кромки обрабатывается точка профиля заготовки, например точка a_1 (рис. 3.82,б), необходимо провести через нее окружность — траекторию ее перемещения в обкатном движении $a_1 c_1$; через точку c_1 ее пересечения с линией профилирования провести траекторию движения точек режущей кромки в обкатном движении — прямую $c_1 b_1$, параллельную начальной прямой; ее пересечение с профилем режущей кромки определяет точку

b_1 , обрабатывающую точку a_1 профиля заготовки в точке c_1 линии профилирования. Точки a_1 , b_1 и c_1 называют сопряженными.

За пределами окружности радиуса $r_{a1\max}$ для точки a_2 , например, нет сопряженных точек на линии профилирования и, следовательно, отсутствуют сопряженные точки режущей кромки, а поэтому обработка за пределами окружности $r_{a1\max}$ при начальной окружности r_{w1} невозможна.

При аналитических методах профиль режущей кромки определяется с использованием принципа огибания или положения о профильных нормалях.

При первом способе профиль детали задается в подвижной системе координат $x'O'y'$, связанной с ее центроидой, ось $O'x'$ системы — касательная к начальной окружности (рис. 3.83,а). Уравнение прямолинейного профиля

$$x' = y' \operatorname{tg} \alpha_{w1}.$$

Профиль режущей кромки определяется в неподвижной системе xOy , связанной с центроидой инструмента — начальной прямой, которая совпадает с осью Ox . В начальном положении центр начальной окружности заданного профиля расположен на оси Oy , и обе системы координат совпадают. При качении центроиды A заготовки по центроиде B инструмента

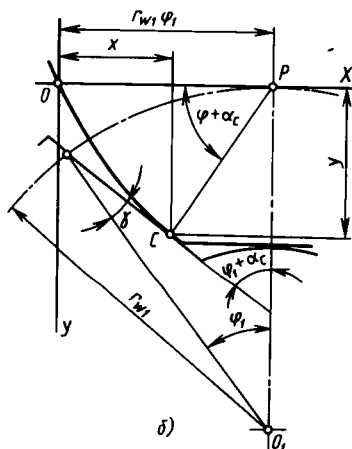
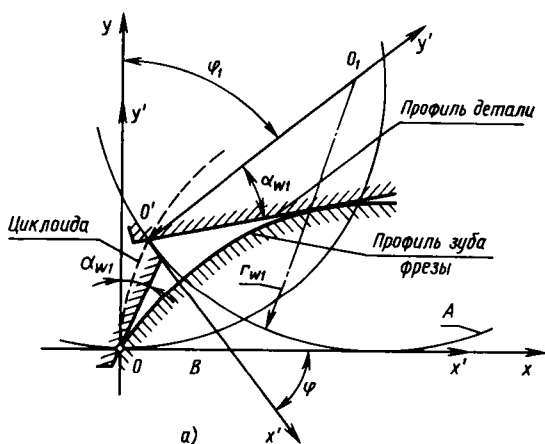


Рис. 3.83. Определение профиля режущей кромки аналитическими методами

начало O' подвижной системы перемещается по циклоиде, уравнение которой

$$x = r_{w1}(\varphi_1 - \sin \varphi_1); y = r_{w1}(1 - \cos \varphi_1).$$

Применяя формулы перехода от одной системы к другой, получаем уравнение семейства профилей заготовки в неподвижной системе:

$$y = x \operatorname{ctg}(\varphi_1 + \alpha_{w1}) + r_{w1}[1 - \cos \varphi_1 + (\sin \varphi_1 - \varphi_1) \operatorname{ctg}(\varphi_1 + \alpha_{w1})].$$

Для определения общей огибающей семейства находим частную производную уравнения семейства по параметру φ и приравниваем ее к нулю:

$$dF(x, y)/d\varphi = 0.$$

Совместное решение уравнения профиля детали и уравнения семейства дает искомое уравнение огибающей — профиля режущей кромки:

$$\begin{aligned} x &= r_{w1} \{ \varphi_1 [\sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1}] \cos(\varphi_1 + \alpha_{w1}) \}; \\ y &= r_{w1} [\sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}) - \sin \alpha_{w1}] \sin(\varphi_1 + \alpha_{w1}). \end{aligned} \quad (3.54)$$

При втором способе уравнение линии профилирования в неподвижной системе определяем для подвижной системы xOy , связанной с инструментом (рис. 3.83, б). Ось OX этой системы совпадает с начальной прямой OP . Применяя формулы перехода от одной системы к другой, получаем формулы (3.54).

Иногда параметр φ заменяют величиной $\delta = \varphi + \alpha_{w1}$, тогда

$$\begin{aligned} x &= r_{w1} [\delta - \sin \delta \cos \delta - \alpha_{w1} + \sin \alpha_{w1} \cos \delta]; \\ y &= r_{w1} [\sin^2 \delta - \sin \alpha_{w1} \sin \delta]. \end{aligned} \quad (3.55)$$

При расчетах по этим формулам можно использовать таблицы функций $\delta - \sin \delta \cos \delta$ и $\sin^2 \delta$ [45].

При изготовлении червячной шлицевой фрезы шлифование задних поверхностей зубьев производится фасонным шлифовальным кругом. Его рабочий профиль может быть образован различными способами, например заменой теоретического профиля режущей кромки одной дугой или дугами двух касательных окружностей. Радиус и положение центра этих окружностей определяют следующим образом. На профиле режущей кромки (формула 3.54) выбирают три точки [в начале

координат, у прямой выступов фрезы $A_2(x_2, y_2)$ и между ними $A_1(x_1, y_1)$, рекомендуемое их положение указано ниже], и через них проводят окружность (рис. 3.84, а). Положение ее центра x_0 и y_0 и радиус ρ_0 определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{(x_2^2 + y_2^2)y_1 - (x_1^2 + y_1^2)y_2}{2(x_2y_1 - x_1y_2)}; \\ y_0 &= \frac{(x_2^2 + y_2^2)x_1 - (x_1^2 + y_1^2)x_2}{2(x_2y_1 - x_1y_2)}; \\ \rho_0 &= \sqrt{x_0^2 + y_0^2}. \end{aligned}$$

В формуле для y_0 учтено получаемое отрицательное значение.

Другой способ приведен в работах [42, 45].

Для проверки точности замены определяют точки с наибольшими отклонениями ΔF дуги, заменяющей окружности от теоретической кривой профиля: $\Delta F = F - \rho_0$.

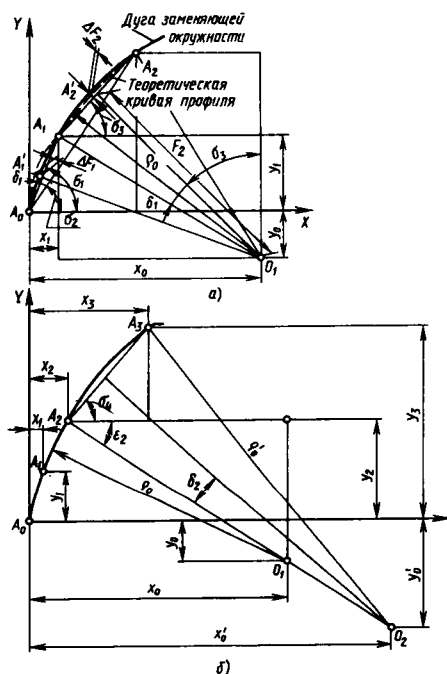


Рис. 3.84. Замена теоретической кривой профиля режущей кромки дугой одной (а) или двумя сопряженными (б) дугами окружностей

Расстояние F точки теоретического профиля от центра заменяющей окружности

$$F = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}.$$

Наибольшие отклонения ΔF определяются из условия $d\Delta F/d\varphi = 0$.

После подстановки значений, дифференцирования и преобразования получаем

$$r_{w1}(\delta - \alpha_{w1}) - x_0 - y_0 \operatorname{ctg} \delta = 0.$$

Для решения этого трансцендентного уравнения $\operatorname{ctg} \delta$ раскрываем в ряд:

$$\operatorname{ctg} \delta = 1/\delta - \delta/3 - \delta^3/3^2 \cdot 5 - \dots$$

Используя первые два члена ряда, получаем квадратное уравнение

$$\delta^2 - \frac{r_{w1}\alpha_{w1} + x_0}{r_{w1} + y_0/3} \delta - \frac{y_0}{r_{w1} + y_0/3} = 0.$$

При решении этого уравнения определяем угловой параметр δ , соответствующий наибольшим отклонениям ΔF на участках OA_1 и A_1A_2 (см. рис. 3.84) теоретической кривой. Для расчетных точек A_1 и A_2 рекомендуем

$$\delta = \alpha_{w1} + K\varphi_{1\max},$$

для точки A_1 $K = 0,312 \dots 0,39$, для точки A_2 $K = 0,814 \dots 0,787$ [45]. По полученным значениям δ находим положения соответствующих им точек теоретической кривой с координатами x_3y_3 и x_4y_4 и их расстояние F от центра O_1 заменяющей окружности и, сравнивая их с ρ_0 , устанавливаем значения ΔF . При ΔF больше допустимого уменьшают интервал между точками A_0 , A_1 и A_2 , соответственно изменяя δ в формуле (3.55).

Если этим способом не удается обеспечить требуемую точность режущей кромки (допустимые отклонения ΔF), то теоретический профиль, определенный по (3.54) или (3.55), заменяют дугами двух касательных окружностей с радиусами ρ_0 и ρ'_0 (см. рис. 3.84, б). Их центры O_1 и O_2 и расчетная точка A_2 их касания должны находиться на одной прямой. Положение точки касания дуг этих окружностей рекомендуется принимать соответствующей

точке профиля детали на окружности диаметром

$$d_{12} = d_{a1} - (0,3 \dots 0,4)(d_{a1} - d_{f1}).$$

Радиус ρ'_0 второй заменяющей окружности и координаты ее центра определяют по формулам

$$\rho'_0 = \frac{x_3 - x_2}{2 \cos \sigma_4 \cos(\varepsilon_2 + \sigma_4)};$$

$$x'_0 = x_2 + \rho'_0 \cos \varepsilon_2; \quad y'_0 = y_2 - \rho'_0 \sin \varepsilon_2,$$

$$\text{где } \operatorname{tg} \sigma_4 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}; \quad \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{y_2 - y_0}{x_0 - x_2}.$$

Описанный способ может быть использован при проектировании фасонных инструментов (резцов, фрез и др.) для определения параметров окружности, заменяющей теоретическую кривую профиля.

Наибольшее применение рассматриваемые фрезы имеют для обработки шлицевых валов — червячно-шлицевые фрезы (рис. 3.85, а).

Конструктивные параметры и габаритные размеры червячно-шлицевых фрез определяют аналогично приведенным выше положениям для червячных зуборезных фрез. Ввиду обычно большего шага у профилей шлицевых валов по сравнению с зубчатыми колесами допускается угол подъема витков фрезы $\gamma_{m0} \leq 6^\circ$, а иногда и до 10° . Длина профилирующей части фрезы определяется максимальной величиной x_c активного участка линии профилирования (точка C_4 , рис. 3.86, а). Размеры режущих кромок в сечении, нормальном к их производящей винтовой поверхности, определяются в зависимости от размеров профиля детали (рис. 3.85, б). На чертеже фрезы указывают шаг зубьев $p_{n0} = \pi d_{w1}/z_1$; толщину зуба по начальной прямой $s_{n0} = p_{n0} - s_1$; высоту головки зуба от начальной прямой $h_{a0} = r_{w1} - r_{f1}$; она ограничивается касательной к окружности впадин валика, параллельной начальной прямой; координаты нескольких точек профиля x_1y_1 , x_2y_2 , радиус ρ_0 заменяющей окружности и положение ее центра x_0 и y_0 и соответствующие им толщины зуба фрезы s_{01} и s_{02} .

Профиль ножки зуба оформляется с фаской или по дуге окружности в соответствии с формой профиля шлица детали у окружности выступов. По дну впа-

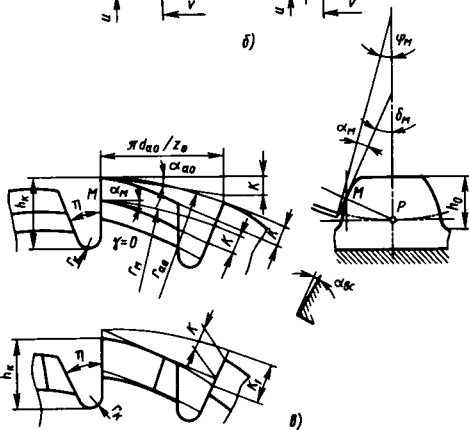
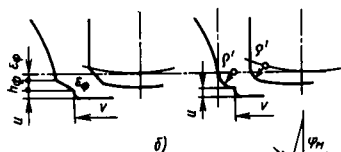
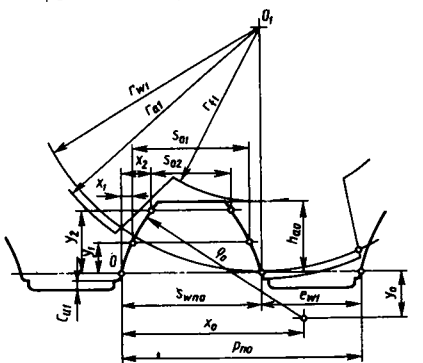
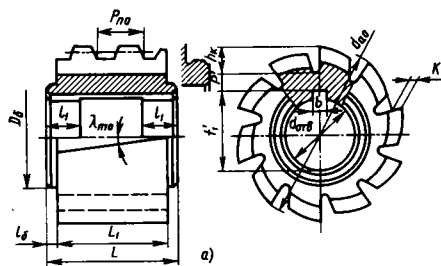


Рис. 3.85. Червячно-шлицевая фреза

дины фрезы делают канавки для разделения боковых сторон впадины и уменьшения поверхности шлифования.

Передний угол $\gamma_{a0} = 0$ (см. рис. 3.85, в), и передняя поверхность винтовых стружечных канавок — винтовая архимедова поверхность, нормальная к направлению витков фрезы.

Для получения заднего угла задние поверхности зубьев делают затылованными, обычно по архимедовой спирали в радиальном направлении. Значения заднего угла α_{a0} на вершине зуба принимают 12...13°. Изменение заднего угла α_n по высоте профиля зуба определяется по формуле (3.38):

$$\operatorname{tg} \alpha_{nM} = \frac{r_{a0}}{r_M} \operatorname{tg} \alpha_{a0} \operatorname{tg} \delta_M \cos \gamma_{m0}. \quad (3.56)$$

На ножке зуба угол δ имеет малую величину, что определяет малое значение кинематического заднего угла $\alpha_{пк}$ в нормальном сечении.

Для его увеличения можно увеличить расчетный радиус r_{w1} (3.53) начальной окружности обработки заготовки, но это сопровождается увеличением переходных кривых в основании образованного профиля детали.

Точность изготовления червячных фрез для шлицевых валов регламентирует ГОСТ 8027—86.

Червячные шлицевые фрезы по конструкции и принципам работы аналогичны червячным зуборезным фрезам, однако требования к их точности различны, так как червячные зуборезные фрезы предназначены для обеспечения точности зацепления колес, а червячные шлицевые фрезы должны обеспечить точность сопряжения (сборки) шлицевого вала со втулкой, т. е. точность по ширине шлица, расположению шлиц, обеспечению центрирования по внутренней или наружным поверхностям (диаметрам).

ГОСТ 8027—86 установлены допустимые отклонения червячных фрез для нарезания валов зубчатых (шлицевых) соединений с прямобочным профилем различной точности по толщине зуба с центрированием по внутреннему или наружному диаметрам. Точность профиля проверяется на проекторе или путем нарезания контрольных колес и их измерением.

Переходные кривые. При обкатной обработке с профилированием методом огибания некоторый участок профиля детали у окружности впадин не имеет сопряженного ему участка на профиле режущей кромки (рис. 3.86, а). Это происходит из-за смещения сопряженных точек линии профилиро-

вания (точек c) с линии кратчайшего межосевого расстояния: в основании профиля детали получается участок ниже точки a_4 , который образуется одной точкой — вершинной точкой зуба фрезы — так называемой переходной кривой (рис. 3.86, б). Чем больше расстояние сопряженных точек линии профилирования от линии кратчайшего межосевого расстояния, тем больше получается участок переходной кривой.

Последняя точка профиля режущей кромки b_4 зуба — высота зуба фрезы определяется касательной к окружности впадин детали, параллельной начальной прямой фрезы; сопряженные ей точки c_4 на линии профилирования и a_4 на образованном профиле детали определяют предельную точку правильной обработки профиля шлица.

Угловой параметр $\varphi_{1(4)}$, соответствующий этой точке, определяется по формулам (3.52) при подстановке в них $y_4 = r_{w1} - r_{f1}$ или $y_{c4} = r_{f1}$.

Получаем

$$\sin(\varphi_{1(4)} + \alpha_w) = \frac{\sin \alpha_{w1}}{2} \pm \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha_{w1}}{4} - \frac{r_{w1} - r_{f1}}{r_{w1}}}.$$

Определив $r_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$ при полученном значении $\varphi_{1(4)}$, имеем

$$r_{c4} = r_{np} = r_{w1} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha_{w1}}{2} + \frac{r_{f1}}{r_{w1}} - \sin \alpha_{w1} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha_{w1}}{4} - \frac{r_{w1} - r_{f1}}{r_{w1}}}}. \quad (3.57)$$

Для того чтобы правильно образовать профиль детали до окружности впадин, необходимо на режущей кромке иметь точку b_5 , сопряженную точке a_5 требуемого профиля детали на окружности впадин радиуса r_{f1} , и активный участок линии профилирования до сопряженной точки c_5 (рис. 3.87, а), необходимо, чтобы $r_{c5} = r_{f1}$. Из этой зависимости определяем угловой параметр $\varphi_{1(5)}$:

$$\sin(\varphi_{1(5)} + \alpha_w) = \sqrt{1 + \sin^2 \alpha_{w1} - (r_{f1}/r_{w1})^2}.$$

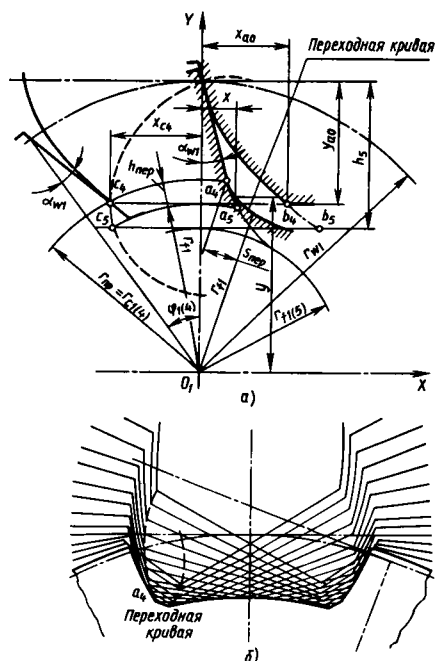


Рис. 3.86. Переходная кривая, получаемая при обкатной обработке

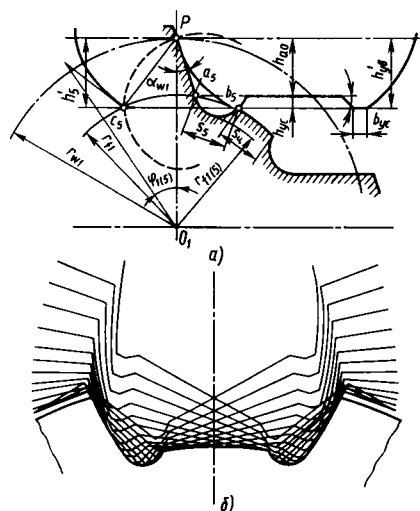


Рис. 3.87. Образование впадины шлицевого вала червячной фрезой с «усиками»

Необходимая высота головки зуба фрезы $h_5 = h_{y5}$ определяется ординатой y_5 профиля зуба фрезы, при этом значении $\varphi_{1(5)}$

$$h_{yb} = y_5 = r_{w1} \left[1 + \sin^2 \alpha_{w1} - \left(\frac{r_{f1}}{r_{w1}} \right)^2 - \sin \alpha_{w1} \sqrt{1 + \sin^2 \alpha_{w1} - \left(\frac{r_{f1}}{r_{w1}} \right)^2} \right] \quad (3.58)$$

При такой высоте зуба фрезы профиль заготовки будет правильно обработан до окружности впадин радиуса r_{f1} , но переходной участок сохранится, он переместится ближе к центру вала, внутрь окружности впадин радиуса r_{f1} .

Чтобы обеспечить правильную обработку заготовки до окружности впадин, необходимо обеспечить высоту режущей кромки $h_{yb} = y_5$ и сохранить высоту головки зуба фрезы h_{a0} .

Режущая кромка должна быть материализована на всей ее рабочей длине — иметь лезвие соответствующей ширины, для этого у нее за пределами высоты h_{a0} делают утолщение, называемое «усиком», и общую высоту зуба принимают h'_{yb} . Ширину усика выбирают из условия обеспечения достаточной стойкости и работоспособности зубьев инструмента. Средняя часть вершины зуба делается высотой, обеспечивающей получение окружности впадин детали, т. е. $h_{a0} = r_{w1} - r_{f1}$, а высота режущей кромки $h'_{yb} = h_5$. При такой конструкции зубьев фрезы средняя часть S_d дна канавки заготовки сохраняется при обработке и может быть использована для центрирования втулки по валу (рис. 3.87, б). Высота профиля зуба с усиком $h'_{yb} = y_5$, ширина усика $b_{yc} = 0,3 \text{ мм} \dots 0,8 s_5$, где s_5 — допустимая ширина канавки, вырезаемой усиком, — половина допустимого уменьшения базовой поверхности дна канавки.

Если по конструкции детали недопустимо вырезать канавки в окружности впадин, то следует применить другую конструкцию фрезы, образование профиля зубьев которой приведено на рис. 3.88, а. Высоту головки (режущей кромки) зуба делают $h_{yb} = y_5$ (рис. 3.88, д) (формула 3.58), наружную поверхность зубьев в нормальном сечении образуют по дуге окружности, которая совпадает с окружностью впадин нарезаемого вала. Таким образом оформляются вершины всех профилирующих

зубьев фрезы (рис. 3.88, б...и). Для обработки заготовки фреза должна быть точно установлена по длине, центр окружности вершин зубьев должен совпадать с осью заготовки: перемещать такие фрезы по длине для изменения загрузки режущих кромок зубьев нельзя. Окончательное образование зубьев (шлиф) вала производится: боковых сторон — методом огибания, а дна впадины — методом копирования. Эти фрезы называют фрезами постоянной установки с удлиненным зубом, профилирующие смешанным методом — огибания и копирования.

Детали зубчатого типа, впадины которых не могут быть образованы червячными фрезами с профилированием методом огибания, изготавливают червячными фрезами, осуществляющими процесс профилирования методом копирования. Обработка производится при непрерывных вращательных движениях фрезы и заготовки; это обеспечивает непрерывный процесс деления — переход от одной впадины к следующей. Работу и основы проекти-

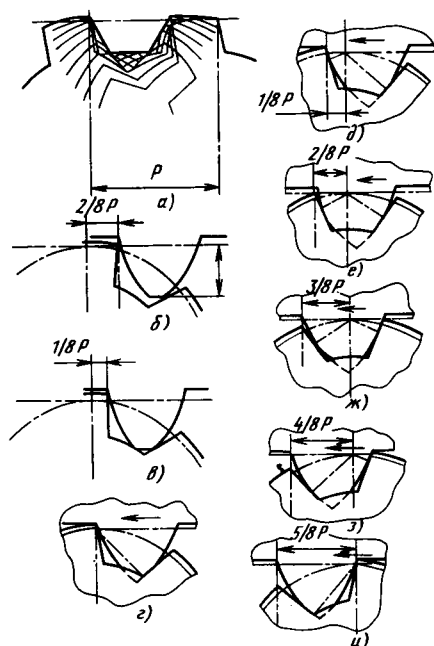


Рис. 3.88. Схема работы фрезы постоянной установки с удлиненным зубом

рования этих фрез рассмотрим на примере получения зубчатой детали храпового прямолинейного профиля, у которого одна сторона впадины образуется прямой, проходящей через ось детали, а другая — под углом δ к ней (рис. 3.89, а). Такие впадины обкатными инструментами с профилированием методом огибания обработать нельзя из-за заострения зуба инструмента.

При применении этих фрез окончательное образование профиля впадины производится методом копирования последним профилирующим зубом, режущие кромки которого имеют форму впадины. Пред-

шествующий ему зуб не может иметь такие же размеры, так как он срежет часть контура требуемого профиля зуба детали. Чтобы этого не произошло, форму режущих кромок предшествующего зуба фрезы следует изменить, чтобы она не выходила за пределы будущей впадины, образуемой последним зубом фрезы. Это изменение может быть любое, легко технологически осуществимое и обеспечивающее допустимую толщину срезаемых слоев, значение и геометрических параметров и др., например постоянной формы и размеров режущих кромок, положение которых на фрезе должно отвечать условиям несреза-

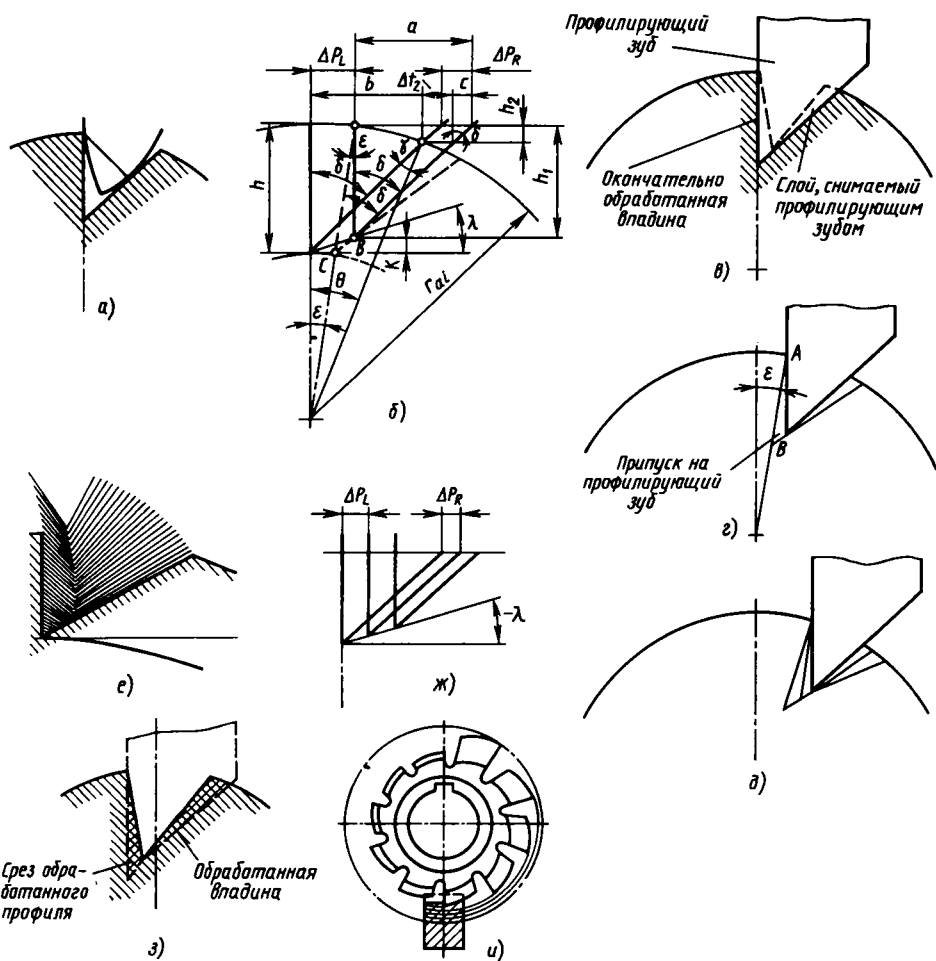


Рис. 3.89. Червячная фреза определенной установки, образующая впадину заготовки методом копирования

ния требуемой формы впадины. В данном примере за условие построения профиля зубьев фрезы примем параллельность соответственно всех правых и левых режущих кромок зубьев фрезы их положением у профилирующего зуба. На рис. 3.89, б штриховой линией показан требуемый профиль впадины заготовки в положении обработки предпоследним $(n-1)$ -м зубом фрезы (относительно положения профилирования профиль детали повернут на угол $\epsilon = 360/(z_0 z_1)$).

Крайнее положение левой режущей кромки предпоследнего зуба (на рис. 3.89, б и г вертикальное) определяется точкой A (рис. 3.89, б) пересечения левой стороны требуемой впадины с окружностью выступов заготовки, а высота — точкой B его пересечения с другой стороной требуемой впадины.

Точка B определяет крайнее допустимое положение режущей кромки правой стороны $(n-1)$ -го зуба, которая образуется по линии, параллельной правой стороне профилирующего зуба. Площадь между требуемым профилем и образуемым предпоследним зубом является припуском, оставаемым на последний профилирующий зуб фрезы (рис. 3.89, в).

Расстояния Δp_L и Δp_R между последовательными положениями режущих кромок определяют долю шага зубьев фрезы на один ее угловой шаг для левой и правой сторон зубьев фрезы:

$\Delta p_L = r_{a1} \sin \epsilon$; $\Delta p_R = \Delta p_L + a - b - c$,
или после преобразований

$$\Delta p_R = h_1 \frac{\sin \delta \operatorname{tg} \delta}{\sin(\delta + \epsilon)} - \frac{2r_{a1}}{\cos \delta} \sin \frac{\delta - \epsilon}{2} \cos \frac{2\delta - \theta - \epsilon}{2},$$

где δ — угол профиля впадины детали; θ — центральный угол впадины обработанной детали.

Шаги (ход) левой и правой винтовой поверхности режущих кромок зубьев

$$p_L = z_0 \Delta p_L, \quad p_R = z_0 \Delta p_R.$$

Ввиду различия шагов p_L и p_R вершины зубьев расположены не на равном расстоянии от оси, а по спирали (рис. 3.89, и). Сведенные в плоскость вершины зубьев находятся на прямой, наклонной к оси фрезы под углом λ (рис. 3.89, ж):

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\Delta p_L - \Delta p_R}{\Delta p_L} \operatorname{ctg} \delta.$$

Зубья, следующие за профилирующим, образованные по принятым условиям, будут срезать образованный профиль впадины (рис. 3.89, з), поэтому их удаляют. Этот способ может быть применен для обработки шлицевых валов и других прямолинейных и фасонных профилей впадин зубчатых заготовок, в особенности впадин с большой глубиной при малой ширине.

Обобщенная схема проектирования червячных шлицевых фрез для шлицевых валов приведена на рис. 3.90. Исходными являются размеры вала с указанием допусков (материал и оборудование в данной схеме опущены). Размеры вала для расчета фрезы устанавливают с учетом допустимых отклонений размеров вала: максимальный наружный диаметр d_{a1} уменьшают на 0,25 допуска, минимальный внутренний диаметр d_{f1} и ширину шлица B увеличивают на 0,25 допуска. Определив положение центровды обработки — радиус начальной окружности r_{w1} (3.53), определяют размеры профиля режущей кромки — координаты x и y (3.54), (3.55), радиус заменяющей окружности ρ_0 , положение ее центра x_0 и y_0 , отклонение заменяющей окружности от теоретической кривой ΔF , последняя допускается (если специально не оговорено) в пределах 0,5... 0,3 допуска на прямолинейность профиля детали. При неудовлетворительных результатах производится изменение положения точек, выбранных для расчета, до получения удовлетворительных результатов или переход на другой тип фрез — двухрадиусных, с удлинненным зубом или профилирующих впадины методом копирования. Далее определяют границу правильной обработки профиля r_{np} (3.57) или высоты переходной кривой, и в зависимости от результата сравнения их с заданными размерами и допуском на диаметр внутренней окружности вала принимают конструкцию фрезы с усиками, определенной установки или иную. Определяют конструктивные и геометрические параметры фрезы и задний угол γ начальной прямой, т. е. в основании зуба (3.56); при неудовле-

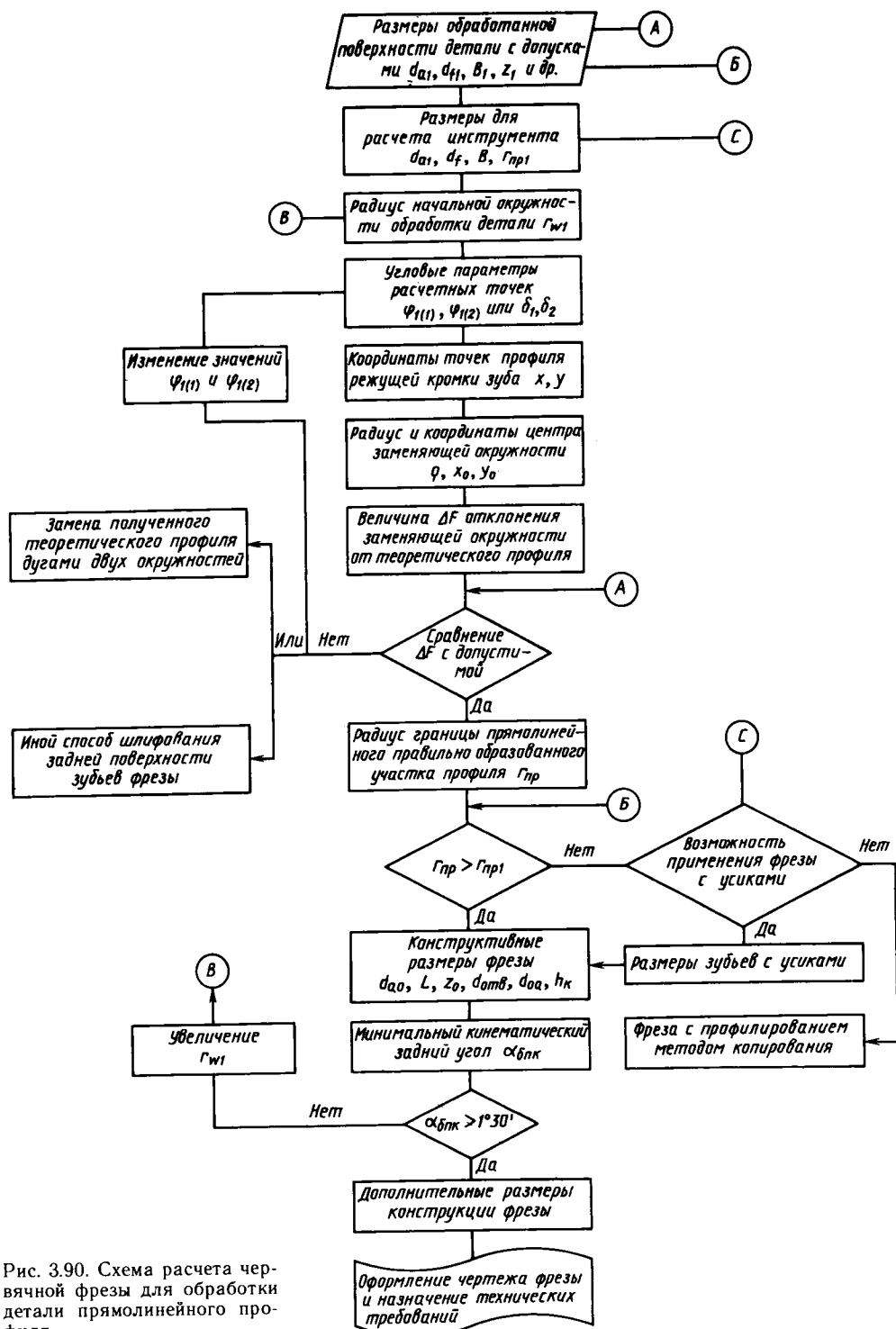


Рис. 3.90. Схема расчета червячной фрезы для обработки детали прямолинейного профиля

творительных результатах следует или увеличить радиус начальной окружности с последующей проверкой высоты получаемой переходной кривой и ее допустимости, или запроектировать угловое направление затывания.

Обкатные инструменты для получения деталей фасонного профиля.

Фасонные профили деталей обычно образуют комбинацией дуг окружностей и прямых. При проектировании обкатных инструментов для их изготовления вначале следует определить возможность обработки с учетом метода профилирования и возможное положение центроиды обработки для всего профиля с учетом отдельных его элементов и их сопряжений, исходя из приведенных выше положений.

Рассмотрим определение возможных положений центроиды обработки для сложного профиля, образованного дугами окружностей и прямой (рис. 3.91, а). Если центр кривизны дугового участка профиля находится на центроиде, то в процессе обкатного движения все нормали этого участка одновременно попадут в полюс профилирования и этот участок будет профилироваться одновременно во всех точках (фасонная обработка), профиль режущей кромки должен быть равен тре-

буемому профилю детали (участок I). Если нормали к профилю пересекают ее центроиду не в одной точке, то образование профиля осуществляется последовательными резами и режущая кромка имеет форму, отличную от требуемого профиля детали. Форма режущей кромки определяется приведенными выше способами. Исходя из условий возможности обработки (см. выше), положения центроиды для отдельных элементов профиля показаны заштрихованными участками. Анализ показывает, что для всего профиля центроида не может быть больше $r_{w1\max}$ и меньше $r_{w1\min}$. В этих пределах может быть принято любое ее положение.

Профиль режущей кромки инструмента, кроме приведенных выше способов, может быть определен с использованием положения, что проекция всякой замкнутой линии на любое направление равна нулю. Рассмотрим нахождение элемента профиля режущей кромки инструмента с прямолинейной центроидой для изготовления дугового вогнутого элемента профиля с радиусом r_1 , центр которого O' в начальном положении находится на расстоянии a и b от исходных осей (рис. 3.91, б). Центроида детали — окружность радиуса r_{w1} . Профиль режущей кромки определим

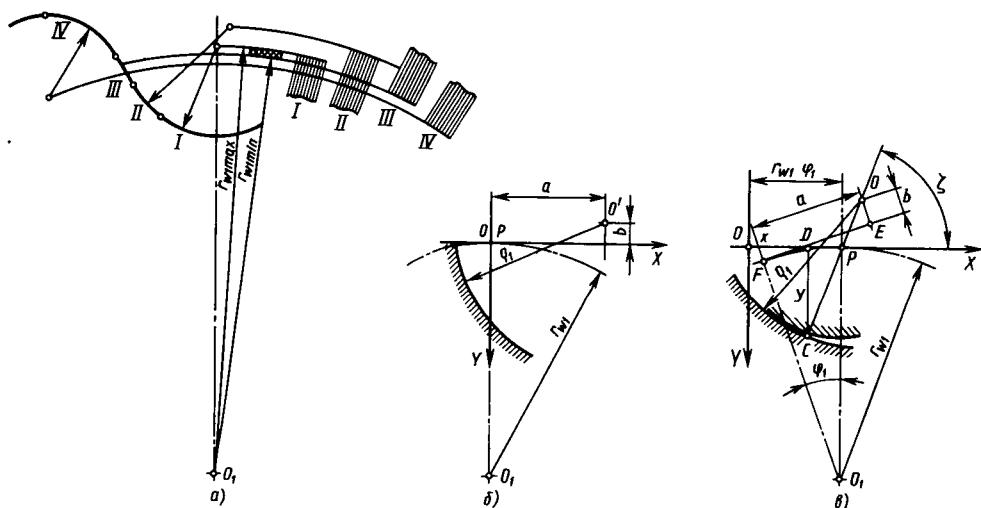


Рис. 3.91. Определение положения центроиды и профиля режущей кромки червячной фрезы для обработки фасонного профиля детали

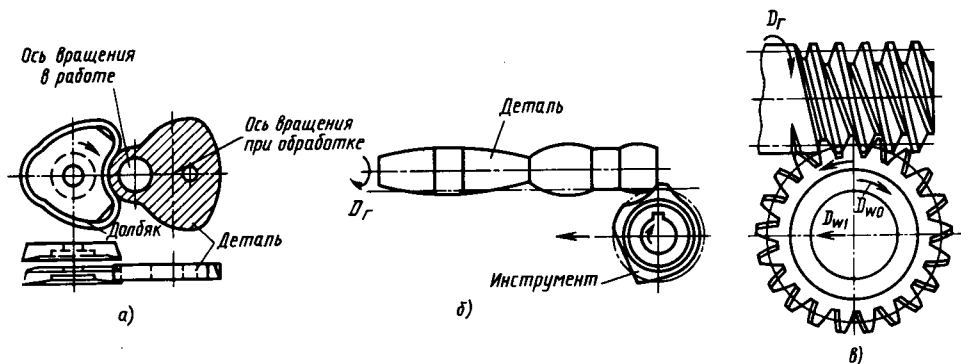


Рис. 3.92. Долбяк и обкатные резцы для изготовления фасонных профилей деталей

в прямоугольной системе координат с осью Ox , совпадающей с начальной прямой и началом O , совпадающим с исходным положением полюса профилирования P . Рассмотрим произвольное положение требуемого профиля детали при его повороте от начального положения на угол φ_1 (рис. 3.91, в). При этом режущая кромка и подвижная система координат переместятся от начального положения на расстояние $r_{w1}\varphi_1$. Точка C профилирования определяется нормалью к требуемому профилю, проходящей через полюс P . Составляем замкнутую ломаную линию $CDOPO_1FEO'C$, состоящую из искоемых отрезков CD и DO — координат профиля режущей кромки x и y и известных или легко определяемых величин. Проектируя ее последовательно на оси Ox и Oy и приравнявая проекции нулю, определим искомые координаты:

$$x = r_{w1} (\varphi_1 - \sin \varphi_1) + a \cos \varphi_1 - b \sin \varphi_1 - \rho_1 \cos \zeta;$$

$$y = r_{w1} (1 - \cos \varphi_1) - a \sin \varphi_1 - b \cos \varphi_1 + \rho_1 \sin \zeta;$$

где ζ — угол между профильной нормалью PC и осью Ox ;

$$\operatorname{tg} \zeta = \frac{a \sin \varphi_1 + b \cos \varphi_1 - r_{w1} (1 - \cos \varphi_1)}{a \cos \varphi_1 - (r_{w1} + b) \sin \varphi_1}.$$

Изменяя параметр φ_1 , определяем координаты профиля режущей кромки для данного участка профиля детали.

Приведенный способ применим для определения профиля режущей кромки ин-

струментов при соответствующем учете формы их центроид [40, 42, 45].

Для изготовления деталей фасонного профиля применяют червячные фрезы, долбяки, обкатные резцы.

Червячные фрезы применяют для изготовления деталей зубчатого типа с повторяющимися профилями по окружности. Конструкция и их проектирование, кроме определения профиля режущих кромок, аналогичны вышеприведенным.

Долбяки для образования прямолинейных и фасонных профилей деталей имеют конструкцию, аналогичную конструкции зуборезных долбяков; отличается форма режущих кромок и задних поверхностей, соответствующая требуемым профилям детали.

Так как долбяки работают по принципу станочного обкатного движения, ими можно изготавливать детали с неповторяющимися профилями — незубчатого типа, например фасонные кулачки, детали как с прямолинейной, так и круговой центроидой (рис. 3.92, а).

При переточках долбяка (обычно по передней поверхности конической формы) изменяются положение центроиды и форма режущих кромок, что сказывается на форме получаемого профиля детали; поэтому при проектировании инструмента смещение расчетного сечения и величину допустимого слоя стачивания принимают малыми.

Порядок проектирования долбяков для изготовления деталей прямолинейного и

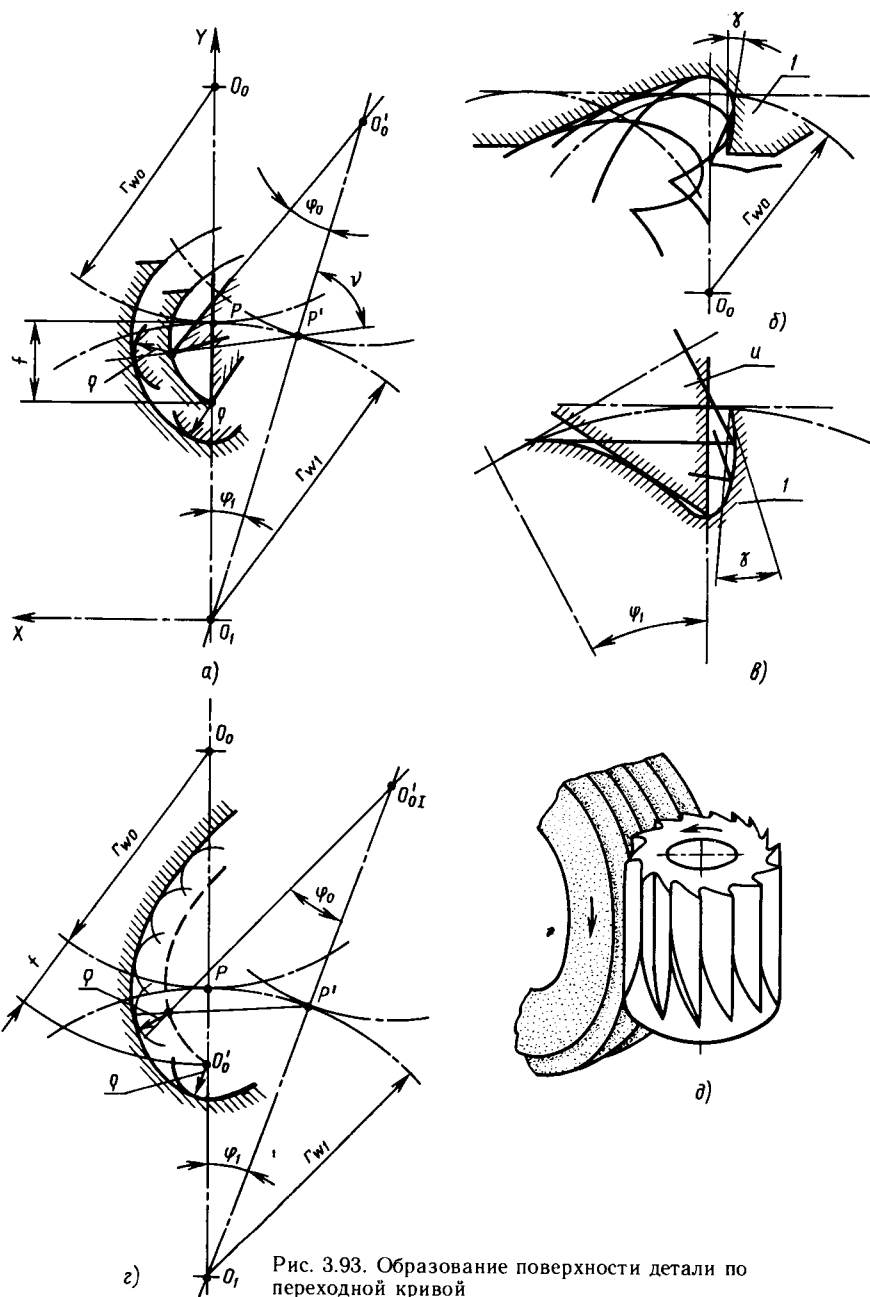


Рис. 3.93. Образование поверхности детали по переходной кривой

фасонного профиля см. в работе [45].

Обкатные резцы применяются двух видов:

а) для изготовления деталей типа тел вращения с кольцевыми и винтовыми по-

верхностями (фасонные тела вращения, кольцевые рейки, детали с резьбой и червяки). Центроида детали — прямая, центроида инструмента — окружность (рис. 3.92, б и в); инструмент аналогичен дол-

бьякам. Главное движение заготовки — вращательное вокруг своей оси, обкатное движение инструмента — вращательное и продольно-поступательное параллельно начальной прямой заготовки. Конструкция и расчет инструмента такие же, как для фасонных долбяков, отличие в форме центроиды обработки заготовки.

б) Обкатные резцы для зуботочения (предложены Ю. В. Цвисом) применяют для изготовления деталей зубчатого типа. По конструкции они аналогичны червячным многозаходным фрезам, которые обычно имеют сборную конструкцию со вставными ножами. Число заходов равно числу зубьев. Профилирование, окончательное образование поверхности заготовки осуществляется не в осевой плоскости инструмента, а по всей рабочей длине контакта режущей кромки с образуемой поверхностью заготовки. Эти инструменты обеспечивают высокую производительность обработки, их применяют для изготовления зубчатых колес, шлицевых валов и других зубчатых деталей. Их конструкции и расчет приведены в работах [40, 54].

Для решения возможностей обкатной обработки может быть применен метод профилирования по переходной кривой (метод вершинного огибания). Инструмент и заготовка совершают обычные обкатные движения (рис. 3.93). Образование поверхности осуществляется только одной точкой режущей кромки или закруглением постоянного радиуса кривизны (рис. 3.93, г). Поверхность образуется по переходной кривой, которая в зависимости от формы центроид принимает вид удлиненной эпициклоиды при центроидах в виде начальных окружностей (см. рис. 3.93, а), удлиненной циклоиды (рис. 3.93, б) или удлиненной эвольвенты (рис. 3.93, в) при одной центроиде — прямой, а другой — окружности. При закругленной режущей кромке (дуге окружности) профиль образуется по эквидистантам к этим кривым. Существенным преимуществом этих инструментов является возможность получения поверхностей, которые невозможно получить методом огибания, например с отрицательным углом профиля (в приложении к режу-

щим инструментам — с положительной величиной переднего угла γ). Форма получаемого профиля зависит от формы и соотношения размеров центроид и положения профилирующего элемента режущей кромки относительно центроиды — размеров f и ρ [40]. Этот способ применен для обработки червячными абразивными кругами зубьев фрез с положительным передним углом (рис. 3.93, д).

Особый вид обкатной обработки обеспечивают инструменты с компланарными векторами скоростей главного и обкатного движений — с совпадающими направле-

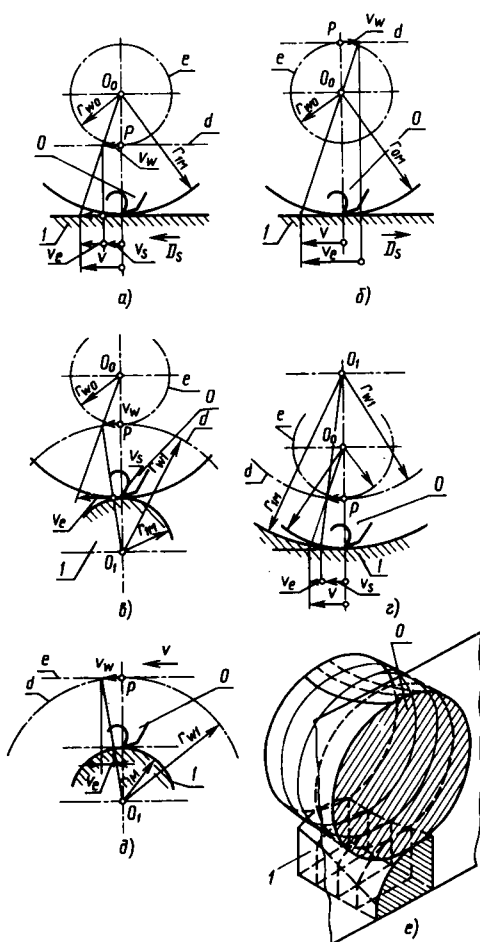


Рис. 3.94. Схема работы обкатного инструмента с компланарными векторами скоростей главного и обкатного движений

ниями векторов их скоростей. Схемы такой обработки с центроидами инструмента и заготовки в виде окружности и прямой приведены на рис. 3.94. Вращательное движение обеспечивает скорость главного движения D_r режущих кромок; прямолинейно-поступательное (рис. 3.94, а, б) или вращательное (рис. 3.94, в—д) движение заготовки создает движение подачи; их соотношение — сумма или разность — определяет скорость обкатного движения, положение полюса P и размеры и положение центроид заготовки и инструмента. Эти инструменты могут быть применены для образования поверхностей двойкой кривизны — фасонных в продольном и поперечном направлениях. Профиль инструментальной поверхности определяется в сечениях, перпендикулярных оси инструмента, с учетом требуемого в этом сечении профиля заготовки (рис. 3.94, е). Профиль инструментальной поверхности строится на основе рассмотренных выше положений. Подробнее см. [40, 45].

Другие конструкции обкатных инструментов и методов обкатной обработки, расширяющие их возможности, см. [40, 45].

§ 3.5. ДИСКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Типы инструментов и определение их профиля. Для обработки канавок деталей с винтовой поверхностью типа ходовых винтов, роторов насосов, косозубых колес, спиральных сверл, концевых фрез, червячных шлицевых и зуборезных фрез и др. наиболее распространены инструменты в форме тела вращения — дисковые острозаточенные и затылованные фрезы и шлифовальные круги. Определение формы профиля инструментов в их диаметральной сечении является сложной задачей, которой уделяется достаточно большое внимание в теории и практике проектирования металлорежущего инструмента. Профиль дискового инструмента для обработки поверхности сложной формы завитой поверхности, положения инструмента относительно детали и его габаритных размеров.

На рис. 3.95 показаны варианты расположения инструмента относительно обрабатываемой заготовки и базовой линии, в направлении которой перемещается профиль детали. При обычной фасонной обработке ось инструмента $O_u—O_u$ расположена перпендикулярно базовой линии или направлению подачи D_s (рис. 3.9, а) и профиль инструмента совпадает с профилем заготовки. Если ось $O_u—O_u$ (рис. 3.95, б) пересекает базовый торец, по которому задан профиль детали, под углом δ , то профили заготовки и инструмента в сечении $N—N$ совпадают, а в сечениях $M—M$ и $N—N$ различны. При обработке винтовой поверхности при любом расположении оси инструмента относительно базовой винтовой линии или относительно оси заготовки их профили различны в любом сечении (рис. 3.95, в).

Участки профиля заготовки образуются при обработке дисковым инструментом двумя способами: а) как сопряженные по отношению к профилю инструмента, т. е. на участках ab и a_1b_1 (рис. 3.95, г), где в точках касания поверхностей заготовки и инструмента имеются общие касатель-

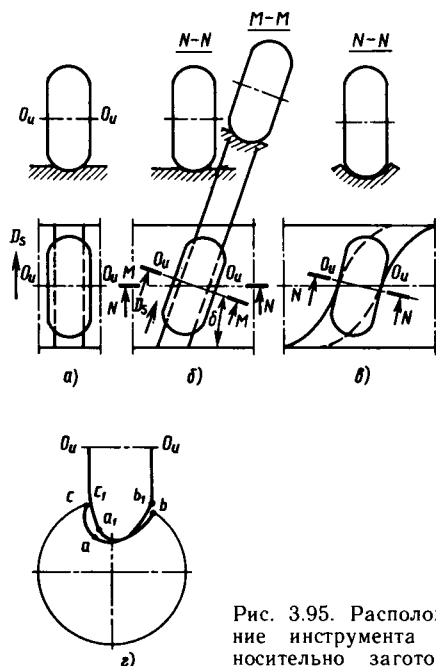


Рис. 3.95. Расположение инструмента относительно заготовки

ные и нормали; б) как переходные кривые, образованные одной (или несколькими) точкой a_1 профиля инструмента — участок ac (рис. 3.95, z). Форму переходной кривой уточняют при решении обратной задачи, т. е. когда по заданному профилю инструмента определяют профиль детали.

Последовательность решения задачи по определению профиля инструмента следующая: определяют параметры, формируют профиль и математическую (или графическую) модель винтовой поверхности; назначают габаритные размеры дискового инструмента; определяют параметры установки инструмента относительно детали; находят на профиле инструмента точки, сопряженные характерным точкам профиля детали; затем решают контрольную задачу, т. е. по найденному профилю инструмента определяют профиль детали и сравнивают его с заданным.

Способы задания винтовой поверхности.

Винтовая поверхность любого вида задается формой образующей, ее начальным положением и винтовым параметром. В общем случае образующая винтовой поверхности состоит из соединенных между собой отрезков прямых, дуг окружностей или отрезков некоторых других кривых, определенным образом расположенных в пространстве.

Винтовые поверхности, образованные отрезками прямых, относятся к классу

линейчатых винтовых поверхностей — эвольвентная, архимедова, конволюнтная (рис. 3.96, a); поверхности, образованные дугами окружностей, — к классу каналовых винтовых поверхностей (рис. 3.96, b).

Образующая в каждом конкретном случае задается в торцовом (OXY), осевом (OXZ) сечениях или нормальном к направлению базовой винтовой линии.

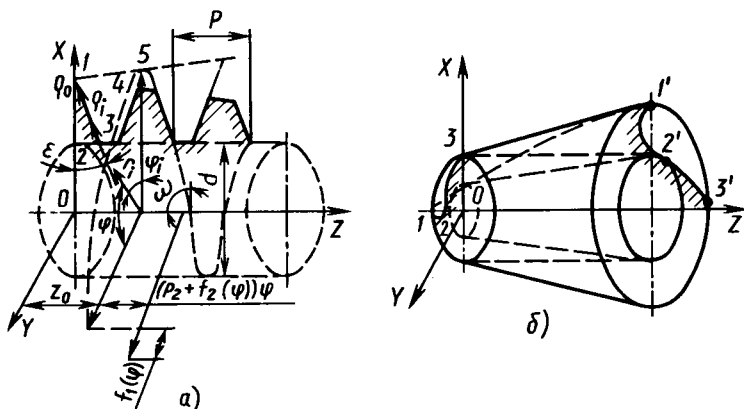
При образовании винтовой поверхности образующая может иметь устойчивую конфигурацию 1—2—3—4 (см. рис. 3.96, a) или неустойчивую, изменяющуюся по мере перемещения по базовой винтовой линии 3—4—5 (см. рис. 3.96, a), 1—3 (см. рис. 3.96, b). Последний случай имеет место при образовании винтовой поверхности на конусе.

Базовая винтовая линия определяется винтовым параметром $P_v = P/(2\pi)$ (где P — ход винтовой линии) и диаметром цилиндра d (или размерами конуса, тела вращения), на котором она располагается (рис. 3.96, a). Найдем соотношение угла наклона ω базовой винтовой линии, расположенной на цилиндре диаметра d , с углом наклона ω_i любой другой винтовой линии, образованной какой-то точкой образующей, лежащей на цилиндре диаметром d_i :

$$P = \frac{\pi d}{\operatorname{tg} \omega}; \quad P = \frac{\pi d_i}{\operatorname{tg} \omega_i},$$

$$\text{откуда } \operatorname{tg} \omega_i = \frac{d_i \operatorname{tg} \omega}{d}.$$

Рис. 3.96. Образование винтовой поверхности детали на цилиндре и конусе



Уравнение винтовой поверхности можно представить в виде уравнений семейства образующих. Например, для прямой 1—2 (см. рис. 3.96, а) уравнение архимедова геликоида:

$$\begin{aligned}x &= \rho_i \cos \varepsilon \sin \varphi; \\y &= \rho_i \cos \varepsilon \cos \varphi; \\z &= (\rho_0 - \rho_i \sin \varepsilon + P_s \varphi),\end{aligned}$$

где ρ_i — радиус-вектор, направленный по образующей 1—2; ε — угол наклона образующей 1—2; φ — угол поворота радиус-вектора в винтовом движении; ρ — радиус-вектор точки 1.

В общем случае уравнение винтовой поверхности в параметрической форме

$$\begin{aligned}x &= (r_i + f_1(\varphi)) \sin(\varphi_i + \varphi); \\y &= (r_i + f_1(\varphi)) \cos(\varphi_i + \varphi); \\z &= z_0 + (P_s + f_2(\varphi)) \varphi,\end{aligned}$$

где $f_1(\varphi)$ — приращение радиуса-вектора r_i как функции от φ ; φ_i — угловой параметр, определяющий положение радиус-вектора r_i в исходном положении; $f_2(\varphi)$ — приращение значения параметра винтовой поверхности как функции от φ ; z_0 — аппликация исходного положения r_i .

Если в уравнении винтовой поверхности $f_2(\varphi) = 0$, то винтовая поверхность имеет постоянный шаг; если $f_1(\varphi) = 0$, то винтовая поверхность располагается на цилиндре. В противном случае поверхность характеризуется как винтовая поверхность переменного шага на конусе или какой-либо другой поверхности вращения.

Графически винтовая поверхность изображается с помощью двух проекций. Одна из проекций воспроизводится как проекция семейства образующих винтовой поверхности на плоскость OXY , вторая — на плоскость OZX .

Другой вариант графического изображения винтовой поверхности реализуется с помощью винтовых линий, образованных как траектория винтового перемещения характерных точек профиля детали. В этом случае след винтового движения точки на плоскость OXY проектируется в виде окружности с радиусом r_i , а на плоскость OZX — в виде синусоиды с периодом $P = 2\pi P_s$.

Семейство проекций образующих или винтовых линий позволяет воспроизвести винтовую поверхность как реальное отображение и использовать его для решения задач определения профиля дискового инструмента.

Методы определения профиля инструмента. Все методы разделяют на две группы: определение сопряженных точек с по-

мощью общих нормалей и касательных; определение профиля как огибающей совмещенных круговых проекций сечений детали.

Аналитический метод позволяет решать задачу с высокой степенью точности. Графические методы являются более наглядными.

Из аналитических методов [21] наиболее универсальным является метод нахождения общей касательной к кривым винтовой и производящей поверхностей в сечениях, перпендикулярных оси инструментов.

Пусть профиль детали abc задан в торцовом сечении (рис. 3.97) и произвольная точка b на профиле определяется следующими параметрами: r — радиус окружности, на которой располагается точка; φ_1 — угол, определяющий ее положение по отношению к оси OX ; θ — угол, определяющий положение касательной к профилю в данной точке по отношению к прямой Ob . Знаки углов φ_1 и θ принимаются положительными при отсчете их от оси OX по часовой стрелке.

В системе координат детали XYZ уравнение винтовой поверхности имеет вид

$$\begin{aligned}x &= r \cos(\varphi_1 + \varphi); \\y &= r \sin(\varphi_1 + \varphi); \\z &= P_s \varphi.\end{aligned} \quad (3.59)$$

Переход из системы XYZ в систему координат инструмента $X_1Y_1Z_1$ реализуется следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}x_1 &= y \sin \psi + x \cos \psi - a_\psi; \\y_1 &= (y \cos \psi - x \sin \psi) \sin \varepsilon - z \cos \varepsilon; \\z_1 &= z \sin \varepsilon + (y \cos \psi - x \sin \psi) \cos \varepsilon,\end{aligned} \quad (3.60)$$

где ψ — угол, фиксирующий положение профиля детали abc по отношению к оси OX_1 ; a_ψ — расстояние между осями детали и инструмента; ε — угол скрещивания между этими осями.

Уравнение винтовой поверхности в системе координат инструмента $X_1Y_1Z_1$ получим после подстановки в уравнения (3.60) значений x, y, z из уравнения (3.59), после преобразований получим

$$\begin{aligned}x_1 &= u \cos \tau + v \sin \tau - a_\psi; \\y_1 &= (u \sin \tau - v \cos \tau) \sin \varepsilon - P_s \varphi \cos \varepsilon; \\z_1 &= (u \sin \tau - v \cos \tau) \cos \varepsilon + P_s \varphi \sin \varepsilon,\end{aligned}$$

где $\tau = \varphi_1 + \varphi - \psi + \theta$; $u = r \cos \theta$; $v = r \sin \theta$.

В процессе обработки винтовая поверхность и производящая поверхность инструмента касаются по линии $a_1b_1c_1$, называем-

мой характеристикой. В сечении, перпендикулярном оси инструмента, точки характеристики определяются касанием окружности радиусом R (в сечении инструмента) и кривой mn , образованной в результате пересечения винтовой поверхности секущей плоскости (рис. 3.97). Касание кривой mn (уравнение кривой mn получается из (3.71) при заданном y_1) и окружности $R^2 = x_1^2 + z_1^2$ отображается равенством первых производных уравнений этих кривых:

$$\frac{(a_w P_s \operatorname{ctge} / P_s^2 + u^2 / P_s^2) \cos \tau - [(a_w + P_s \operatorname{ctge}) u] / P_s^2}{\sin \tau} - \left(\psi - \frac{vu}{P_s^2} - \varphi_1 - \theta \right) - \tau = 0.$$

Уравнение является трансцендентным относительно угла τ , который определяет положение общей касательной к поверхности детали и инструмента в проекции на торцовое сечение детали. Данное уравнение решается одним из способов последовательных приближений. Начальное значение

$$\tau_0 = \frac{(a_w P_s \operatorname{ctge} + u^2) \arccos \frac{(w_w + P_s \operatorname{ctge}) u}{a_w P_s \operatorname{ctge} + u^2}}{a_w P_s \operatorname{ctge} + u^2 + P_s^2} \rightarrow \dots \rightarrow \dots \frac{-(\psi - \varphi_1 - \theta) P_s^2 - vu}{\dots}$$

В большинстве случаев начальное значение τ_0 можно определить графически по торцовому сечению детали.

Для определения сопряженных точек профиля инструмента достаточно определить радиус R и ординату y_1 , определяющую положение сечения. С этой целью необходимо произвести следующие вычисления:

$$\varphi = \tau - \theta + \psi - \varphi_1;$$

$$y_1 = r \sin \varepsilon \sin(\tau - \theta) - P_s \varphi \cos \varepsilon;$$

$$z_1 = r \cos \varepsilon \sin(\tau - \theta) + P_s \varphi \sin \varepsilon;$$

$$x_1 = r \cos(\tau - \theta) - a_w;$$

$$R = \sqrt{x_1^2 + z_1^2}.$$

Определение профиля как огибающей совмещенных круговых проекций сечений

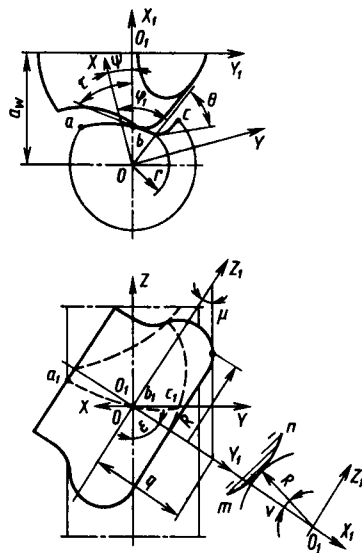


Рис. 3.97. Определение сопряженной поверхности инструмента аналитическим методом

детали более наглядно при решении задачи графоаналитическим методом. Сущность метода заключается в том, что винтовая поверхность детали рассекается плоскостями, проходящими через ось инструмента или параллельно ей, или перпендикулярно оси детали [10]. Семейство профилей, образованное в указанных сечениях, по способу кругового проецирования переносится на диаметрально плоскость инструмента. Огибающая к образованному семейству кривых является профилем инструмента. В отличие от других методов профилирования в данном случае характеристика не определяется.

В качестве примера рассмотрим определение профиля дисковой фрезы или шлифовального круга для изготовления винтовой канавки сверла (рис. 3.98). Форма винтовой канавки сверла определяется формой режущей кромки 1—2—3, нерабочего участка 3—4—5 и параметром винтовой поверхности P_s . Построив две проекции образующей 1—5, нанесем проекции винтовых линий, образованных характерными точками. Начало синусоид совпадает с точками 1—5.

вершины воображаемого конуса на оси O_1Y_1 ; μ — угол наклона касательной к профилю инструмента к оси O_1Z_1 в заданной точке профиля.

Уравнение линии касания $a_1b_1c_1$ при винтовом движении инструмента относительно детали имеет вид

$$y_1 = q - R \operatorname{tg} \mu; \quad k_1 \sin \nu + \cos \nu - k_2 = 0,$$

$$\text{где } k_1 = \frac{(a_w \operatorname{ctg} \varepsilon + P_w) \operatorname{tg} \mu}{y_1 \operatorname{tg} \mu - R}; \quad k_2 = \frac{a_w - r_n}{y_1 \operatorname{tg} \mu - R};$$

r_n — радиус цилиндра детали с углом наклона винтовой линии $\omega = 90^\circ - \varepsilon$.

Определяют координаты x_{it} и y_{it} в торцовом сечении, решая систему уравнений:

$$y_1 = q - R \operatorname{tg} \mu;$$

$$\sin \nu = \frac{k_1 k_2 \pm \sqrt{k_1^2 - k_2^2 + 1}}{k_1^2 + 1};$$

$$x = a_w + R \cos \nu;$$

$$y = R \sin \nu \cos \varepsilon - y_1 \sin \varepsilon;$$

$$z = y_1 \cos \varepsilon + R \sin \nu \sin \varepsilon;$$

$$\varphi_i = z / P_w;$$

$$x_{it} = x \cos \varphi_i + y \sin \varphi_i;$$

$$y_{it} = -x \sin \varphi_i + y \cos \varphi_i;$$

где φ_i — угол, определяющий положение точки относительно оси OX (см. рис. 3.98).

Если при определении угла ν подкоренное выражение $k_1^2 - k_2^2 + 1 > 0$, то точка профиля инструмента профилирует одну точку на наружной винтовой поверхности (знак минус перед корнем). Если $k_1^2 - k_2^2 + 1 = 0$, то профилируется лишь одна точка, которая является границей сопряженного участка. При $k_1^2 - k_2^2 + 1 < 0$ профилируемая точка является мнимой. Эта точка срезается какой-либо другой точкой режущего инструмента.

Для определения координат x_0 , y_0 в осевом сечении детали используют формулы пересчета

$$\operatorname{tg} \varphi_i = y_{it} / x_{it}; \quad z_0 = P_w \varphi_i; \quad x_0 = x_{it} / \cos \varphi_i.$$

Приведенный аналитический метод позволяет определить лишь сопряженный участок профиля. Переходные кривые не определяются. Определение одновременно переходной кривой и сопряженного участка возможно с помощью графоаналитического метода (рис. 3.99).

На профиле инструмента выбирают несколько точек $1, 2, 3, \dots$, расположенных на окружностях, радиусы которых $R_1, R_2, R_3, \dots$ известны. Поверхность инструмента рассекается плоскостями $n_1, n_2, n_3, \dots$, параллельными его оси, расстояние между которыми выбирается с учетом расположения характеристики. Линии пересечения поверхности инструмента плоскостями n_1, n_2, n_3 проецируются по винтовой линии на торцовое (или осевое) сечение. Огибающая к полученному семейству кривых будет профилем детали, который сравнивается с заданным.

Координаты y_i, z_i, φ_i точки i , лежащей в плоскости n ,

$$y_i = a_w - R_i \sqrt{1 - \left(\frac{qn}{R_i}\right)^2};$$

$$z_i = qn \sin \varepsilon \pm M_i \cos \varepsilon,$$

где n — порядковый номер сечения без учета индекса; M_i — расстояние от точки скрещивания S до соответствующей

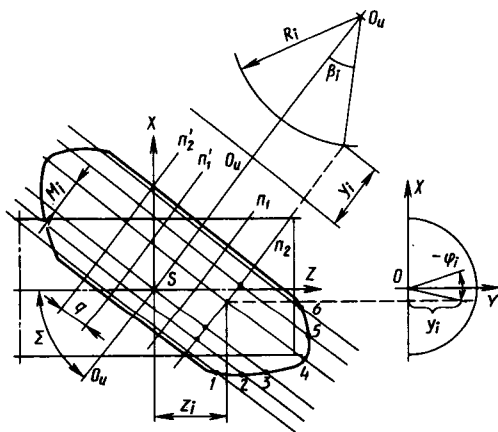


Рис. 3.99. Определение сопряженной поверхности детали при заданном профиле инструмента графоаналитическим методом

точки профиля вдоль оси инструмента $O_n - O_n$.

Угол поворота φ_i при винтовом проецировании

$$\varphi_i = z_i / P_v.$$

Если точка лежит справа от оси OX , то Z_i принимается с плюсом, если слева — то с минусом. Соответственно знак угла φ указывает направление поворота точки; минус — против часовой стрелки, плюс — по часовой стрелке.

Построив по точкам семейство кривых, проводят огибающую к этому семейству, которая и является искомым профилем детали.

Расчет профиля инструмента в плоскости передней поверхности. С целью увеличения стойкости дисковые фрезы проектируют с оптимальными геометрическими параметрами. Наличие у острозаточенных фрез переднего угла γ и угла наклона режущей кромки λ , отличных от нуля, приводит к искажению профиля в плоскости передней поверхности [9].

Метод расчета профиля передней поверхности при $\gamma \neq 0$ и $\lambda = 0$ заключается в следующем. Задан профиль инструмента в плоскости OXZ (рис. 3.100) — отрезки прямых 1—2, 3—4 и дуга окружности 2—3. Ось OZ примем за ось инструмента. Передняя поверхность располагается в плоскости OX_2Z_2 под углом γ к плоскости OXZ и на расстоянии h от оси OZ . Представим, что по контуру 1—4 перемещается следящий элемент, а плоскость $O_2X_2Z_2$ может поворачиваться вокруг оси OZ и непрерывно контактировать со следящим эле-

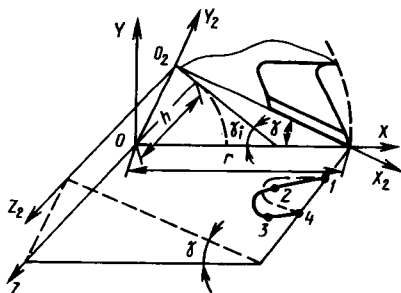


Рис. 3.100. Определение координат профиля передней поверхности инструмента при $\gamma > 0$

ментов. Тогда в любой момент времени взаимосвязь между системами координат $OXYZ$ и $O_2X_2Y_2Z_2$ выразится системой уравнений:

$$x_2 = x \cos \gamma_i; \quad y_2 = y = 0; \quad z_2 = z,$$

где γ_i — переменный параметр.

Если представить $\gamma_i = f(x)$ и $\gamma_i = f(x_2)$, то значения x_2 и x принимают вид

$$x_2 = x \sqrt{1 - (h/x)^2}; \quad x = x_2 \sqrt{1 + (h/x_2)^2},$$

где $h = r \sin \gamma$; r — радиус наружной окружности инструмента.

По приведенным формулам рассчитывают профиль инструмента в плоскости передней поверхности по точкам.

Для определения формы преобразованного профиля в плоскости $O_2X_2Z_2$ как непрерывной кривой воспользуемся формулами преобразования отрезков прямых и дуг окружностей.

В плоскости OXZ участок 1—2 определяется уравнением

$$z = kx + b,$$

где k — угловой коэффициент прямой; b — отрезок, отсекаемый на оси OZ .

В плоскости $O_2X_2Z_2$ уравнение преобразованной прямой принимает вид

$$z_2 = kx_2 \sqrt{1 + (h/x_2)^2} + b,$$

т. е. прямая преобразована в гиперболу.

Аналогично уравнение преобразованной окружности (участок 2—3):

$$\left(x \sqrt{1 - (h/x)^2} - x_0 \sqrt{1 - (h/x_0)^2} \right)^2 + (z - z_0)^2 = R_i^2,$$

где x_0 , z_0 — координаты центра окружности в плоскости OXZ ; R_i — переменный радиус преобразованной окружности (кривой четвертого порядка).

Если угол $\lambda \neq 0$, то формулы принимают вид

$$x_2 = x \sqrt{1 - (z/x \tan \lambda)^2};$$

$$y_2 = y = 0; \quad z_2 = Z / \cos \lambda.$$

Соответственно уравнение преобразованной прямой

$$z_2 \cos \lambda = kx_2 \sqrt{1 + \left(\frac{z_2 \sin \lambda}{x_2}\right)^2};$$

преобразованной окружности

$$\left(x \sqrt{1 - \left(\frac{z \operatorname{tg} \lambda}{x}\right)^2} - x_0 \sqrt{1 - \left(\frac{z_0 \operatorname{tg} \lambda}{x_0}\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{z - z_0}{\cos \lambda}\right)^2 = R_i^2.$$

Формулы преобразования учитывают изменение параметров инструментов — наружного диаметра при переточке, переднего угла γ или угла λ .

Определение размеров и установочных параметров дисковых инструментов. Выбор типа инструмента для обработки детали с винтовой поверхностью определяется размерами детали, заданной точностью и технологией изготовления детали, типом производства.

Габаритные размеры инструмента в форме тела вращения определяются с учетом размеров профиля детали, положения инструмента относительно заготовки и параметров станка.

Размеры профиля детали в заданном сечении (рис. 3.101, а) — высота h и ширина B определяют глубину h_p и ширину B_p резания и, следовательно, высоту h_n и ширину B_n профиля инструмента.

Предварительные размеры дискового инструмента B_n и h_n определяются в осевом сечении инструмента $N-N$:

$$h_n = h + \Delta h; B_n = B + \Delta B,$$

где $\Delta h = 2 \dots 4$ мм — дополнительная высота, гарантирующая нормальную работу инструмента при увеличении припуска на обработку; $\Delta B = 2 \dots 4$ мм — то же, при увеличении ширины обработки.

Ширина детали в сечении $N-N$ приближенно определяется по формулам

$$B = B_s \sin \epsilon; B = B_0 \cos \epsilon,$$

где B_s , B_0 — ширина профиля детали в торцовом и осевом сечениях соответственно; ϵ — угол скрещивания осей заготовки и инструмента.

Наружный диаметр дисковых фрез d_a назначается с учетом глубины h_p и ширины B_p фрезерования [48], а также нагрузки на режущую кромку (табл. 3.2).

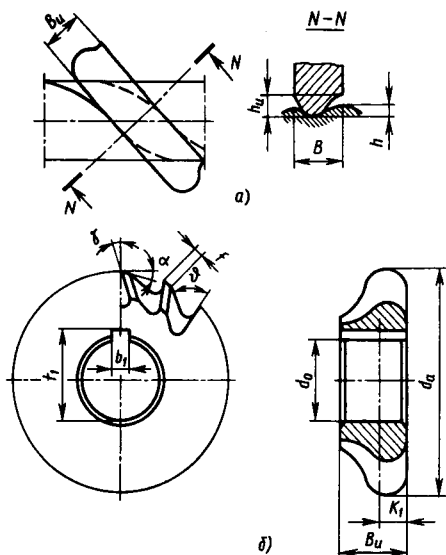


Рис. 3.101. Положение инструмента относительно заготовки и общий вид дисковой фрезы

Выборный диаметр уточняется по формуле

$$d_a \geq d_k + 2(h_n + f),$$

где d_k — наружный диаметр установочного кольца, который назначается по диаметру посадочного отверстия d_0 ; f — гарантированный зазор между наружной поверхностью детали и установочным кольцом на оправке, принимается 5—20 мм.

Величины d_0 и d_k ориентировочно назначают с учетом диаметра d_a (размеры в мм):

d_a . .	50	63	80	100	100	125	125	160
d_0 . .	16	22	22	27	27	32	40	50
d_k . .	26	35	35	40	40	48	58	68

Наружный диаметр инструмента d_a предварительно задается, но его расчет-

3.2. Наружный диаметр дисковых фрез

Размеры в мм

B	Глубина фрезерования h				
	5	10	20	50	100
10	50	63	100	160	250
20	63	80	125	200	256
40	80	100	125	200	320

ное значение отличается от заданного, что в свою очередь требует корректировки межосевого расстояния:

$$a_{\mathbb{W}_K} = a_{\mathbb{W}} \pm (d_a - d_{a1})/2,$$

где $a_{\Psi k}$ — скорректированное межосевое расстояние; d_{a1} — диаметр инструмента по результатам решения задачи определения профиля, значение d_{a1} округляется до величины диаметра нормального ряда наружных диаметров фрез.

Величина K_1 определяет положение точки скрещивания при установке инструмента на станке:

$$K_1 = r \sin \psi / \sin \epsilon + \Delta B_n,$$

где ΔB_n — величина приращения ширины фрезы по результатам расчета профиля.

Геометрические параметры выбирают с учетом обрабатываемого материала детали и инструмента. Форму зуба и форму впадины (см. рис. 3.101) назначают с учетом типа фрезы — острозаточенная или затывающая.

На рис. 3.102 дана схема определения формы впадины острозаточенной фрезы. Острозаточенная фреза по задней поверхности имеет ленточку (см. рис. 3.101) шириной f . Ширина ленточки должна быть постоянной по всему профилю зуба, что

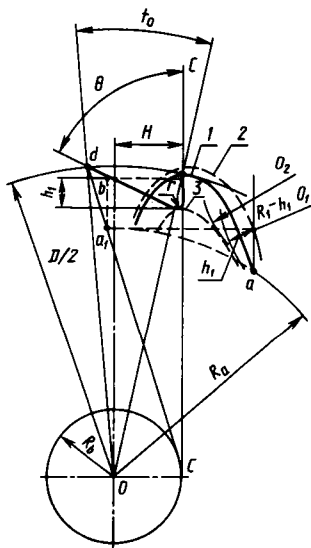


Рис. 3.102. Определение формы впадины фасонной острозаточенной дисковой фрезы

обеспечивается соответствующей формой впадины. По форме впадины оформляется копир для фрезерования впадины.

Кривая впадины строится следующим образом. От оси инструмента на расстоя-

нии $H = \frac{d_a}{2} \sin \gamma$ проводим прямую $C-C$, определяющую положение передней поверхности в вертикальной плоскости. Зная глубину канавки h_1 , радиус r у основания зуба и угол θ впадины, проводим прямую спинки зуба. Относительно прямой $C-C$ строим профиль зуба в плоскости передней поверхности (кривая 1). На наружной окружности фрезы радиусом $D/2$ откладываем окружной шаг r_0 от прямой $C-C$ и из точки d проводим прямую, касательную к окружности радиусом $R_s = H$. На линии 1 выбираем несколько характерных точек. На чертеже обозначена одна из них — a . По этим точкам строим проекцию профиля соседнего зуба на плоскость передней поверхности предыдущего зуба (след $C-C$). Для этого через точку a проводим окружность радиусом R_a до пересечения с передней поверхностью соседнего зуба (точка a_1). Из точки a_1 проводим горизонтальную прямую, а из точки a — вертикальную. На пересечении прямых получим точку a_2 , которая принадлежит проекции профиля соседнего зуба. Семейство таких точек образует линию 2. В точке a_2 проводим касательную к линии 2 и восстанавливаем к этой касательной перпендикуляр. Для определения впадины в зоне точки a_2 из точки a_1 проводим вертикальную прямую до пересечения линии спинки зуба (точка b). Величина h_1 определяет глубину впадины в зоне точки a_2 . Поэтому на перпендикуляре в точке a_2 откладываем h_1 , а по другую сторону — величину $R_1 - h_1$, где R_1 — радиус рабочей угловой фрезы. Из точек O_1, O_2 проводим окружности радиусом R_1 . Огибающая к дугам окружностей является впадиной зуба острозаточенной фрезы (линия 3). Масштаб построения не менее 2:1.

Положение оси инструмента относительно оси заготовки определяется тремя параметрами: расстоянием между этими осями a_{Ψ} (рис. 3.103), углом скрещивания осей ε ; углом ψ , определяющим по-

ложение отрезка кратчайшего расстояния между осями, по отношению к профилю заготовки в торцовом сечении. Параметр ψ может заменяться эквивалентным ему параметром K — расстоянием от точки скрещивания S до точки пересечения проекции базовой винтовой линии с осью заготовки.

Пусть профиль детали (например, червячной фрезы при $\gamma=0$) задан в сечении $N-N$, нормальном к винтовой линии на наружном (делительном или внутреннем) цилиндре заготовки. Плоскость $N-N$ располагается относительно оси детали под углом $\delta=90-\omega$, где ω — угол наклона винтовой линии на цилиндре диаметра d .

Участок ab на профиле червячной фрезы является образующей передней поверхности, и для того, чтобы не было подрезания в точке a , винтовая поверхность инструмента и поверхность детали должны иметь общую касательную и нормаль в этой точке.

Касательная к профилю инструмента должна располагаться по отношению к его торцовой плоскости под углом τ ($\tau_{\min}$ принимается $10-15^\circ$). С учетом этого расстояние a_0 от оси инструмента до точки a_2 определяется по формуле

$$a_0 = d_a/2 + (d/2 - h_n)\cos\tau,$$

где d — диаметр детали.

Для определения кратчайшего расстояния a_w между осями инструмента и заготовки достаточно спроектировать ось инструмента на плоскость OXY , где она займет положение m_1-m_1 , а ось заготовки спроектируется в точку O . Тогда

$$a_w = a_0 \cos\psi / \cos\tau,$$

где $\operatorname{tg}\psi = \operatorname{tg}\tau / \cos\omega$.

Угол ϵ и расстояние K определяются поворотом заготовки и инструмента вокруг оси OZ на угол ψ . В этом положении ось инструмента находится в плоскости, параллельной плоскости OXZ (отрезок m_2-m_2), и угол скрещивания ϵ определяется между новым положением оси инструмента (отрезок m_3-m_3) и осью OZ :

$$\cos\epsilon = \sin\omega \cos\tau.$$

При повороте системы инструмент — деталь на угол ψ винтовая линия, обра-

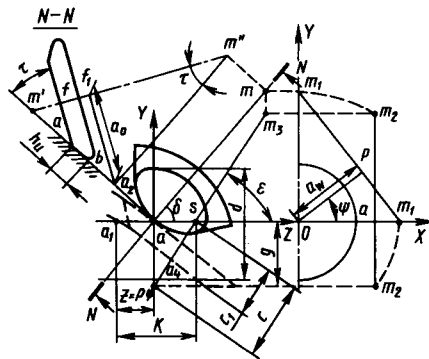


Рис. 3.103. Определение параметров положения инструмента относительно заготовки

зованная точкой a , заняла новое положение, и расстояние между точками a , a_1 равно $z = P_w \psi$, а расстояние

$$K = a_w \operatorname{tg}\psi / \sin\epsilon + P_w \psi.$$

Если профиль детали ab имеет угол наклона γ_N , то при расчете параметров установки к углу τ добавляется угол γ_N (вместо τ следует ставить сумму углов $\tau + \gamma_N$).

Если профиль детали задан в торцовом или осевом сечении, то угол γ_N определяется по формулам

$$\operatorname{tg}\gamma_N = \operatorname{tg}\gamma_r \cos\omega, \quad \operatorname{tg}\gamma_N = \operatorname{tg}\gamma_0 \cos(90-\omega),$$

где γ_r и γ_0 — углы профиля в торцовом и осевом сечениях (для канавок инструментов это передние углы).

Установка инструмента на станке относительно заготовки производится следующим образом. Устанавливают расстояние между осями инструмента и заготовки, равное $a_c = d_a/2 + d/2$.

Затем стол станка (или шпиндельную бабку) разворачивают на угол ϵ .

На цилиндрическую поверхность заготовки устанавливают шаблоны (центроискатель) и его грань, установленная вертикально, совмещается с радиальной риской на торце инструмента. После этого стол станка смещается в направлении оси оправки инструмента на величину C_1 или в направлении, перпендикулярном оси заготовки, на величину g_1 :

$$C_1 = a_w \frac{\operatorname{tg}\psi}{\sin\epsilon} - (d_a/2 - h_n \cos\tau) \operatorname{tg}\tau; \quad g_1 = C_1 \sin\epsilon.$$

Для установки на глубину обработки необходимо стол станка поднять на величину $F = a_c - a_\psi$.

На практике параметры установки часто задают на основании имеющегося опыта, так как расчетные параметры, особенно при больших углах γ_N и ω , не всегда дают желаемые результаты. Например, при фрезеровании винтовых канавок сверла $\varepsilon = 90 - (\omega + 2^\circ)$.

В большинстве случаев параметры установки определяются по приближенным формулам:

$$\begin{aligned} a_\psi &= d_a/2 + d/2 - h; \\ \varepsilon &= 90 - \omega; \quad \psi = \tau - \gamma_N; \\ K &= P_\psi \psi + \frac{d}{2} \sin \psi \operatorname{ctg} \varepsilon. \end{aligned}$$

В этом случае функциональная связь между параметрами установки отсутствует, и уточнение их производится в процессе решения задачи проектирования.

Автоматизированное проектирование дисковых инструментов. Укрупненная структурная схема проектирования представлена на рис. 3.104 как один из вариан-

тов последовательности формирования программы.

Формирование исходных данных детали (блок 1) предполагает наличие параметров: d_1 — диаметр детали; d_6 — базовый диаметр, на котором располагается базовая винтовая линия; ω_6 — угол наклона базовой винтовой линии; P_ψ — винтовой параметр; l_3 — длина заготовки; материал заготовки.

В блоке 2 формируется система расчета координат и дополнительных параметров точек профиля торцового, осевого или какого-либо другого сечения. Во многих случаях (например, сверло) координаты характерных точек функционально связаны с образующей винтовой поверхности, расположенной в пространстве.

Предварительное определение параметров дискового инструмента (блок 3), без которых невозможен дальнейший расчет: d_a — наружный диаметр; B_n — ширина инструмента; h_n — высота профиля и др.

В блоке 4 формируется система определения параметров установки: a_ψ — расстояние между осями заготовки и инструмента; ε — угол скрещивания осей; ψ — угол, фиксирующий отрезок кратчайшего расстояния по отношению к базовой точке профиля (или расстояние K).

Расчеты, выполненные в блоке 5, являются наиболее трудоемкими расчетами, так как в этом блоке обрабатывается система определения профиля инструмента.

Результаты расчета профиля целесообразно представить графически (блок 6) с целью дальнейшего его анализа.

В блоке 7 формируются параметры профиля инструмента: координаты точек профиля, угол наклона касательной в этих же точках, уточняется наружный диаметр инструмента.

Определение профиля детали по расчетному профилю инструмента в блоке 8 необходимо для контроля результатов расчета блока 5 и определения формы переходных кривых.

Результаты расчета оформляются графически (блок 9) с учетом данных блока 2, по которым формируется заданный профиль детали.

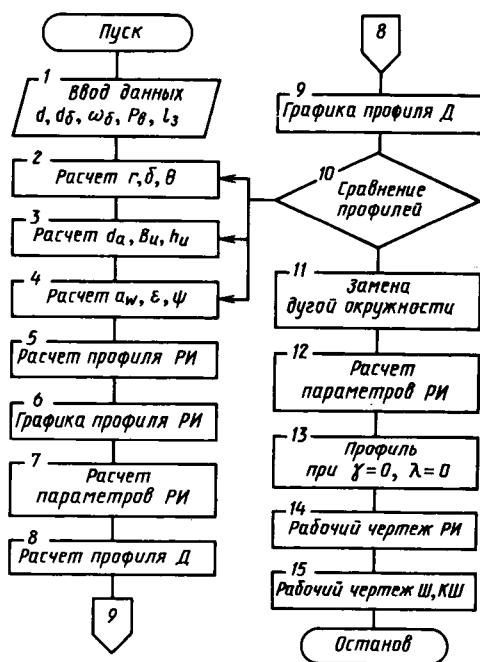


Рис. 3.104. Укрупненная схема автоматизированного проектирования дисковых фрез

В блоке 10 формируется система сравнения профилей. Профили совмещаются на дисплее или вычерчиваются на графопостроителе. В случае больших отклонений, превосходящих допуски на деталь, осуществляется корректировка или профиля детали, если это допустимо, или параметров установки. Производится повторный расчет от блока 2 или 3 до блока 10 включительно.

Замена расчетного профиля дугами окружностей (блок 11) необходима из технологических соображений.

Блок 12 определяет окончательно все конструктивные параметры инструмента: d_a , B_n , h_n , γ — передний угол, α — задний угол, форму зуба и др.

При наличии оптимального переднего угла γ и угла наклона режущей кромки λ в блоке 13 формируется система расчета профиля инструмента по передней поверхности.

В блоках 14 и 15 формируются графические системы для вычерчивания на графопостроителе рабочих чертежей инструмента, шаблона Ш и контршаблона КШ для контроля профиля при изготовлении инструмента.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные способы образования резб на деталях.

2. Как определить число лезвий, одновременно участвующих в процессе резания, для метчика, дисковой фрезы и гребенчатой фрезы?

3. Назовите основные преимущества резьбовых резцов по отношению к другим типам резьбового инструмента.

4. Перечислите основные конструктивные элементы метчиков и определите их назначение.

5. На какие элементы профиля резьбы метчика назначают допуски? Как величина этих допусков зависит от размеров и допусков профиля резьбы детали?

6. Назовите основные конструктивные элементы резьбонарезных плашек и определите их назначение.

7. Перечислите основные конструкции резьбовых фрез и поясните принцип их работы.

8. Как перемещается круглая гребенка резьбонарезной головки за цикл обработки резьбы на детали?

9. Назовите основные преимущества резьбонакатных инструментов относительно резьбонарезных.

10. Перечислите типы резьбонакатных инструментов и поясните принцип их работы.

11. Как определить число заходов резьбонакатного ролика?

12. Укажите границы правильного образования эвольвентного участка профиля зуба колес с различными числами зубьев ($z_1=20, 50$ и 100) при обработке дисковой фрезой.

13. Рассмотрите аналогию и различия в кинематике формообразования поверхностей зубьев колес различными видами зуборезных инструментов.

14. Укажите различия в принципах определения профиля режущих кромок и формы задних поверхностей у дисковых и червячных фрез при нарезании зубчатых колес.

15. Какие неточности возникают при образовании поверхности зуба колеса при обработке его дисковой фрезой, долбяком и червячной фрезой.

16. Как изменится профиль зуба колеса, если червячную фрезу, спроектированную с углом $\gamma=0$, ошибочно заточить под углом $\gamma>0$ и $\gamma<0$?

17. Определите инструментальные и кинематические геометрические параметры режущих кромок зубьев долбяков и червячных фрез.

18. В каких зуборезных инструментах при проектировании применяют принцип смещения исходного контура.

19. Как влияет величина смещения исходного контура на размеры зуба долбяка и его эксплуатационные показатели?

20. Как изменяются геометрические параметры по высоте зубьев долбяка и червячной фрезы для нарезания эвольвентного зубчатого колеса?

21. Какие применяют сборные и составные конструкции червячных фрез, их преимущества и недостатки.

22. Какие преимущества обеспечивают изменение схем резания при проектировании червячных зуборезных фрез, их виды.

23. Какие основные отличия конструкции и расчета червячных фрез для нарезания червячных колес.

24. Возможно ли применить дисковый прямозубый шевр для обработки прямозубого колеса? Дайте обоснование.

25. Как изменится положение точки границы правильно образованного участка профиля зуба колес зуборезным долбяком при увеличении диаметра его делительной окружности?

26. Как изменяются размеры зуба долбяка, шевера и червячной фрезы при переточках.

27. Определите инструментальные и статические геометрические параметры зубострогальных резцов для прямозубых конических колес.

28. Какие инструменты образуют зуб и какие впадину конического зубчатого колеса, дайте объяснение и кинематику обработки.

29. Почему углы профиля резцов зуборезной головки для конического колеса с круговыми зубьями отличны от углов профиля зубьев нарезаемого колеса?

30. Какие способы применяют для уменьшения числа наладок зуборезной головки для конического колеса с круговыми зубьями?

31. Сформулируйте условия возможности обработки деталей неэвольвентного профиля обкатными инструментами с профилированием методом огибания.

32. Как изменятся условия обработки шлицевого вала червячной фрезой при увеличении или уменьшении радиуса его начальной окружности?

33. Как определить минимально необходимую длину червячной фрезы при черновой и чистой обработке?

34. Как повлияет увеличение ширины шлица шлицевого вала при неизменных остальных размерах на расчет конструктивных и геометрических параметров червячной фрезы?

35. Как повлияет на конструкцию червячной фрезы и ее расчет значительное уменьшение диаметра окружности впадин шлицевого вала при сохранении всех других размеров?

36. Как определить шаг, угол подъема витков и угол установки червячной фрезы для обработки шестигранного вала?

37. Для обработки какого: четырех-, шести- или десятигранного — вала с одним наружным диаметром диаметр начальной окружности имеет меньшую величину?

38. Какие параметры определяют винтовую поверхность? Напишите уравнение архимедова геликоида.

39. Какие параметры установки определяют положение дискового инструмента относительно заготовки? Как они определяются?

40. Какую цель преследует конструктор, когда по заданному профилю инструмента определяет профиль детали?

41. Как определить диаметр дискового инструмента для обработки детали с винтовой поверхностью?

42. Для чего определяется форма впадины у острозаточенных фрез?

43. Дайте последовательность решения задачи при автоматизированном проектировании режущего инструмента.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ, СТАНКОВ С ЧПУ И ГПС

Требования к инструментальной оснастке автоматизированного машиностроения. В неавтоматизированном производстве механизированы только рабочие движения инструмента. Установка, настройка и замена инструмента, а также контроль за его состоянием осуществляются оператором или наладчиком. Автоматизация процесса обработки может быть достигнута только при применении специальной оснастки [8, 39], обладающей всеми элементами, необходимыми для механизации процессов, связанных с эксплуатацией инструмента, таких как установка, настройка на размер изготавливаемой детали, подналадка после размерного износа, замена по достижении износа по одному из критериев затупления, замена вследствие случайного выхода из строя (поломки) и т. д. Кроме того, должно быть обеспечено снижение себестоимости операции изготовления детали с учетом более высокой стоимости оборудования. Себестоимость операции выражает в денежной форме часть общественных издержек производства, включающую затраты на средства труда и заработную плату. Эти затраты отражаются формулой

$$Q = t_p E + t_s E + t_{np} E + Q_{ин} + Q_n, \quad (4.1)$$

где Q — полная себестоимость операции изготовления детали, коп.; t_p — продолжительность рабочего хода и дополнительных движений, зависящих от режима резания, мин; E — себестоимость станко-минуты, коп.; t_s — продолжительность вспомогательной работы, включающая время вспомогательного хода и не зависящая от режима резания, мин; t_{np} — продолжительность внеплановых простоев, вызванных случайным выходом инстру-

мента из строя или другими причинами, зависящими от инструментальной оснастки, мин; $Q_{ин}$ — плановые затраты, связанные с износом инструмента и отнесенные к одной детали, коп.; Q_n — прочие постоянные затраты на деталь, не зависящие от темпа операции, коп.

В себестоимости станко-минуты учитываются затраты на средства труда и заработную плату, которые остаются постоянными во времени и не зависят от темпа операции.

В формуле (4.1) переменная доля себестоимости, зависящая от инструментальной оснастки,

$$Q_{пер} = t_p E + Q_{ин} = t_p E + \frac{t_p (P_1 E + P_2 E_n + S_n)}{T_n}, \quad (4.2)$$

где P_1 — плановые потери времени работы станка на установку и замену инструмента, мин; P_2 — плановые потери времени работы станка на наладку, подналадку или размерное регулирование инструмента, мин; E_n — заработная плата наладчика за одну минуту, коп.; S_n — затраты на амортизацию и заточку инструмента на период его работы без замены, т. е. за период стойкости, коп.; $T_n = T/\lambda$ — продолжительность работы инструмента без замены, мин; T — стойкость инструмента по принятому критерию затупления, мин; λ — отношение длительности резания к длительности рабочего хода.

В формуле (4.1) постоянная доля себестоимости операции, не зависящая от инструментальной оснастки, $Q_b = t_s E$. Постоянная доля себестоимости зависит от конструкции механизмов станка и учитывает время вспомогательных ходов, время на установку и замену заготовок и т. д. Для снижения потерь времени t_s необходимо увеличение скорости вспомога-

ных ходов и сокращение времени на установку, закрепление и снятие детали.

Доля себестоимости, связанная с простоями оборудования, $Q_{пр} = t_{пр}E$, частично зависит от инструментальной оснастки и связана со случайным (преждевременным) выходом инструмента из строя или неудовлетворительным формированием стружки. Сливная стружка, попадая на базы установки детали, препятствует автоматическому циклу работы станка.

В автоматизированном производстве оборудование должно работать со скоростью резания, обеспечивающей минимальную величину полной себестоимости обработки или ее переменной доли. Из формулы (4.2) следует, что переменная доля себестоимости зависит от режима резания, потерь времени на установку и замену инструмента, потерь времени на наладку инструмента на размер обрабатываемой детали, стоимости инструмента за период стойкости и его стойкости.

Зависимости составляющих переменной доли себестоимости операции от скорости резания можно представить в виде графиков (рис. 4.1). Зависимость переменной доли себестоимости операции от скорости резания и качества инструментальной оснастки (кривая 4) имеет минимум при экономической скорости резания $v_{эк}$, обеспечивающей минимальную себестоимость операции. Скорость $v_{эк} = v(T/T_{эк})^m$, где

v и T — нормативные значения скорости резания и стойкости; $T_{эк}$ — экономическая стойкость, определяемая по формуле

$$T_{эк} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) (P_1 E + P_2 E_n + S_n) / E; \quad (4.3)$$

m — показатель степени в формуле $v = C_v / T^m$.

Для многоинструментальных наладок [8] с целью увеличения периода стойкости инструмента экономическую стойкость, рассчитанную по формуле (4.3), увеличивают: $T_{эк.м} = k_T T_{эк}$, где $T_{эк.м}$ — экономическая стойкость для многоинструментальных наладок; k_T — коэффициент увеличения стойкости инструмента, $k_T = 1,56 / N^{0.2}$; N — количество инструментов в наладке.

При расчете себестоимости операции по формуле (4.1) время рабочего хода определяют с учетом экономической скорости резания. Из формул (4.1) — (4.3) следует, что снизить себестоимость операции можно созданием инструментальной оснастки, обеспечивающей повышение экономической скорости резания, и устройств, обеспечивающих снижение простоев оборудования, вызванных случайным выходом инструмента из строя и неудовлетворительного формирования стружки. В целях повышения экономической скорости резания инструментальная оснастка должна обеспечить:

сокращение потерь времени на установку и замену инструмента за счет упрощения элементов крепления инструмента и создания быстросменного инструмента, а также механизмов автоматической замены инструмента во время вспомогательного хода станка (в последнем случае время замены инструмента равно нулю);

сокращение потерь времени на наладку инструмента на станке. Достигается созданием инструмента, настраиваемого на размер вне станка, чтобы вновь установленный инструмент обеспечивал получение размеров детали в требуемой точке поля допуска. Создание быстросменного инструмента, настраиваемого на размер вне станка, обеспечивает получение системы быстросменной бесподналадочной замены инструмента;

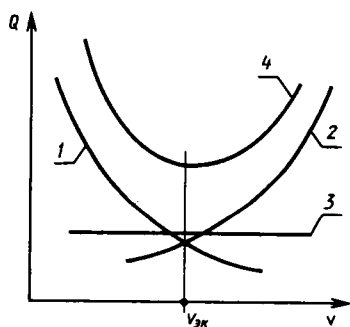


Рис. 4.1. Зависимость составляющих себестоимости операции от скорости резания:

1 — стоимость машинного времени обработки; 2 — затраты на инструмент, его замену и наладку; 3 — непроизводительные затраты, учитывающие постоянную долю себестоимости; 4 — суммарная кривая

повышение стойкости, в том числе размерной, инструмента. Размерная стойкость инструмента может быть повышена применением механизмов автоматической подналадки инструмента, адаптивного управления процессом резания и т. д., а общая стойкость — применением инструментов с износостойкими покрытиями, с подвижными режущими кромками, резцедержавок и инструментов, обеспечивающих обильный подвод СОЖ в зону резания.

Снижение простоев оборудования, связанных с внеплановым выходом инструмента из строя, обеспечивается:

повышением надежности инструмента, в том числе за счет применения инструмента, оснащенного многогранными пластинами. Использование такого инструмента в несколько раз снижает число его случайных поломок;

созданием информационных систем диагностики состояния режущих кромок и информирующих о предельном износе и поломках инструмента с целью немедленного выключения подачи. Создание таких систем универсального типа является проблемной задачей;

применением устройств для кинематического (с помощью колебательного дви-

жения инструмента) дробления стружки. Устройства применяются в случаях, когда традиционные методы (накладные стружколомы, лунки, порошки) не обеспечивают ломание стружки. Устройствами для кинематического дробления стружки оснащены некоторые модели станков-автоматов, однако эти устройства имеют значительные размеры и не могут применяться для многоинструментальных наладок, а также на станках с ЧПУ. Для многих случаев обработки получение ломаной стружки и отвод ее из зоны резания и от станка является проблемной задачей.

Инструментальная оснастка, обеспечивающая повышение экономической скорости резания. На основании анализа затрат, связанных с эксплуатацией режущего инструмента, разработана классификация инструментальной оснастки, обеспечивающая возможность повышения экономической скорости резания, т. е. снижение себестоимости операции. Укрупненная классификация такой оснастки приведена на рис. 4.2. Предусмотрено два направления, обеспечивающих возможность повышения экономической скорости резания — сокращение потерь времени, вызываемых износом инструмента, и повышение стойкости инструмента. Реализация этих на-

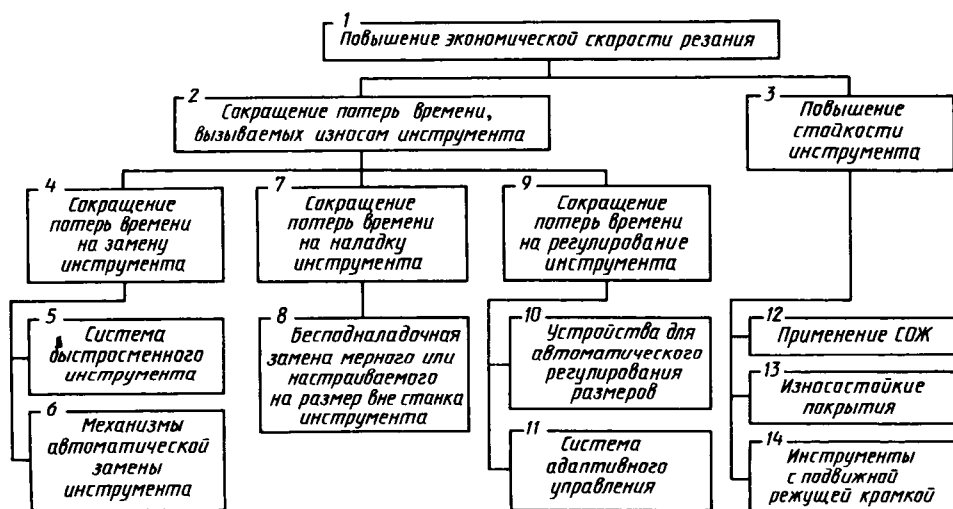


Рис. 4.2. Классификация инструментальной оснастки, обеспечивающей повышение экономической скорости резания

правлений осуществляется соответствующим конструктивным оформлением останки.

Быстросменная бесподналадочная замена инструмента. Для автоматизированного производства вопросы быстросменности и бесподналадочной замены инструмента решаются комплексно (см. рис. 4.2, позиции 5—8). Необходимо, чтобы установленный на станок инструмент без дополнительной подналадки обеспечивал получение размеров детали в точке поля допуска, обеспечивающей максимальный запас на износ. Для понимания принципа бесподналадочной замены на примере точения рассмотрим зависимость точности обработки от точности размеров инструмента, погрешности установки его на станке и износа.

Размеры деталей, обработанных за период стойкости инструмента, изменяются под действием различных факторов, вызывающих систематические и случайные погрешности. Систематические погрешности могут быть постоянными и переменными. Постоянной систематической погрешностью обработки является погрешность размера (длины резца) Δ_d и установки Δ_y инструмента. Эта погрешность является постоянной за период его стойкости, и величина ее изменится только при замене инструмента. Переменные систематические погрешности возникают вследствие износа инструмента и тепловых деформаций, связанных с процессом резания и работой механизмов станка. Тепловые деформации механизмов станка вызывают переменные систематические погрешности только в начальном периоде неустановившегося температурного режима. При установившемся температурном режиме деформации деталей станка Δ_T , направленные по нормали к обработанной поверхности, представляют собой постоянные систематические погрешности. Величина постоянных систематических погрешностей Δ_n определяется формулой $\Delta_n = \Delta_d + \Delta_y + \Delta_T$.

Переменные систематические погрешности Δ'_s зависят от размерного износа Δ_n вершины резца и дополнительных упругих деформаций Δ_p технологической системы, вызываемых увеличением силы ре-

зания при износе инструмента: $\Delta_s = \Delta_n + \Delta_p$. Величина упругих перемещений зависит от жесткости системы (их учитывают в направлении, нормальном оси изготавливаемой детали) и может быть рассчитана по формуле

$$\Delta_p = \frac{\Delta P_x}{j_{xy}} + \frac{\Delta P_y}{j_{yy}} + \frac{\Delta P_z}{j_{zy}},$$

где $\Delta P_x, \Delta P_y, \Delta P_z$ — приращение составляющих силы резания при износе резца, Н; j_{xy}, j_{yy}, j_{zy} — жесткость технологической системы в направлении действия составляющих силы резания при отсчете перемещений в направлении оси Y , Н/мм.

Случайные погрешности обработки, являющиеся следствием большого количества различных факторов, сводятся к кинематическим и динамическим погрешностям. Кинематические погрешности возникают при рабочих перемещениях механизмов станка без нагружения их силами резания и остаются примерно постоянными в течение всего периода работы инструмента. Динамические погрешности возникают в процессе резания, зависят от жесткости технологической системы, случайных изменений сил резания и возрастают при износе инструмента, поэтому границы поля рассеяния размеров во времени увеличиваются [39]. Отклонения размеров деталей от линии группирования соответствуют закону нормального распределения Гаусса, мгновенное поле рассеяния $\omega_{tx} = 6\sqrt{\sigma_{ht}^2 + \sigma_{dt}^2}$, где ω_{tx} —

поле рассеяния размеров в момент времени t_x , мм; σ_{ht} — среднее квадратическое отклонение кинематических погрешностей, мм; σ_{dt} — среднее квадратическое отклонение динамических погрешностей в момент времени t_x , мм. Типовая диаграмма точности (рис. 4.3) отражает изменения размера A деталей, обработанных резцом за период стойкости в условиях установившегося температурного режима работы станка. Текущая среднего размера обработанных деталей (кривая 3) представляет собой суммарную величину переменных систематических погрешностей обработки Δ_{st} и зависит от износа за период времени работы инструмента t_x . Опти-

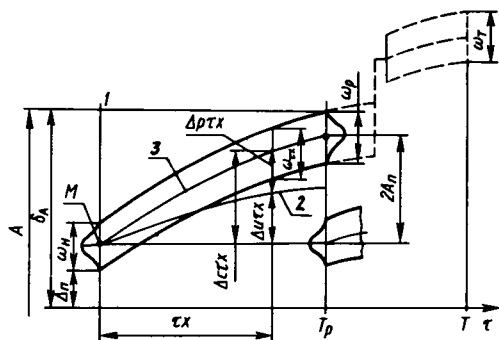


Рис. 4.3. Диаграмма точности обработки:

1 — номинальный размер детали; 2 — суммарная величина переменных систематических погрешностей; 3 — линия центров группирования случайных погрешностей; ω_n — поле рассеяния размеров детали в начале периода стойкости инструмента; ω_r — поле рассеяния размеров детали в конце периода стойкости резца

мальной точкой поля допуска, в которую нужно установить вершину резца с целью обеспечения максимального запаса на его износ, а следовательно, с целью получения максимальной размерной стойкости T_p , является точка М. Стойкость T инструмента в несколько раз превышает его размерную стойкость T_p . С целью использования всего периода стойкости резца после периода размерной стойкости нужно произвести его подналадку. Удвоенная величина подналадки $2\Delta n = \delta_A - (\Delta n + \omega_p)$. При определении величины подналадки целесообразно учитывать величину поля рассеяния размеров для максимально изношенного резца.

Быстросменность инструмента обеспечивается совершенствованием методов его крепления и базирования, а также унификацией присоединительных поверхностей режущего и вспомогательного (зажимного) инструмента.

Базирование инструмента должно быть таким, чтобы силы резания воспринимались базовыми поверхностями вспомогательного инструмента (резцедержавки), а элементы крепления инструмента были от них разгружены. Назначение элементов крепления — прижать базовые поверхности режущего инструмента к базовым поверхностям вспомогательного инструмента.

Резцы следует устанавливать в закрытые пазы резцедержавок и обеспечивать их вылет относительно резцедержавки на 3—5 мм, чтобы сила $R = P_x + P_y$ проходила через опорную поверхность резцедержавок (рис. 4.4, а). Достоинство такого способа установки резцов заключается еще и в том, что державка резца не испытывает напряжений изгиба, а следовательно, можно применять резцы меньшего сечения, чем на универсальных станках. Увеличивается также виброустойчивость инструмента. Наибольшее распространение получило крепление резцов клиновидным сухарем, который затягивается винтом (см. рис. 4.4, а). Значительно меньшее время для замены требуется при закреплении резца клином, расположенным на подпружиненной тяге (рис. 4.4, б). Клин 7 упирается в наклонную поверхность резца 2, выполненного со стороны опорной поверхности резца 1. Паз под клин делается под углом μ относительно боковой поверхности резца. Такое выполнение резца обеспечивает гарантированное касание боковой и опорной поверхности резца к соответствующим поверхностям резцедержателя 4, а также упора 3. Для замены резца достаточно рукояткой сдвинуть тягу 5, и резец свободно снимается. Такое крепление обладает еще и тем достоинством, что обеспечивает возможность подналадки резца без его открепления. Однако данный тип крепления не получил широкого распространения, так как требует высокой точности выполнения при высокой трудоемкости, и необходима защита пружины 6 и тяги от попадания мелкой стружки и окалины.

Быстросменность осевого инструмента обеспечивается применением цилиндрических хвостовиков с передачей крутящего момента шпонкой (рис. 4.4, в). Винт 1 препятствует сдвигу инструмента при его отводе по окончании обработки. При использовании стандартного осевого инструмента с коническим хвостовиком применяют переходные втулки (рис. 4.4, г), а также быстросменные патроны (рис. 4.4, е). Крепление инструмента осуществляется шариком 1 при осевом перемещении втулки 2 влево. При перемещении втулки вправо ее выточка располагается

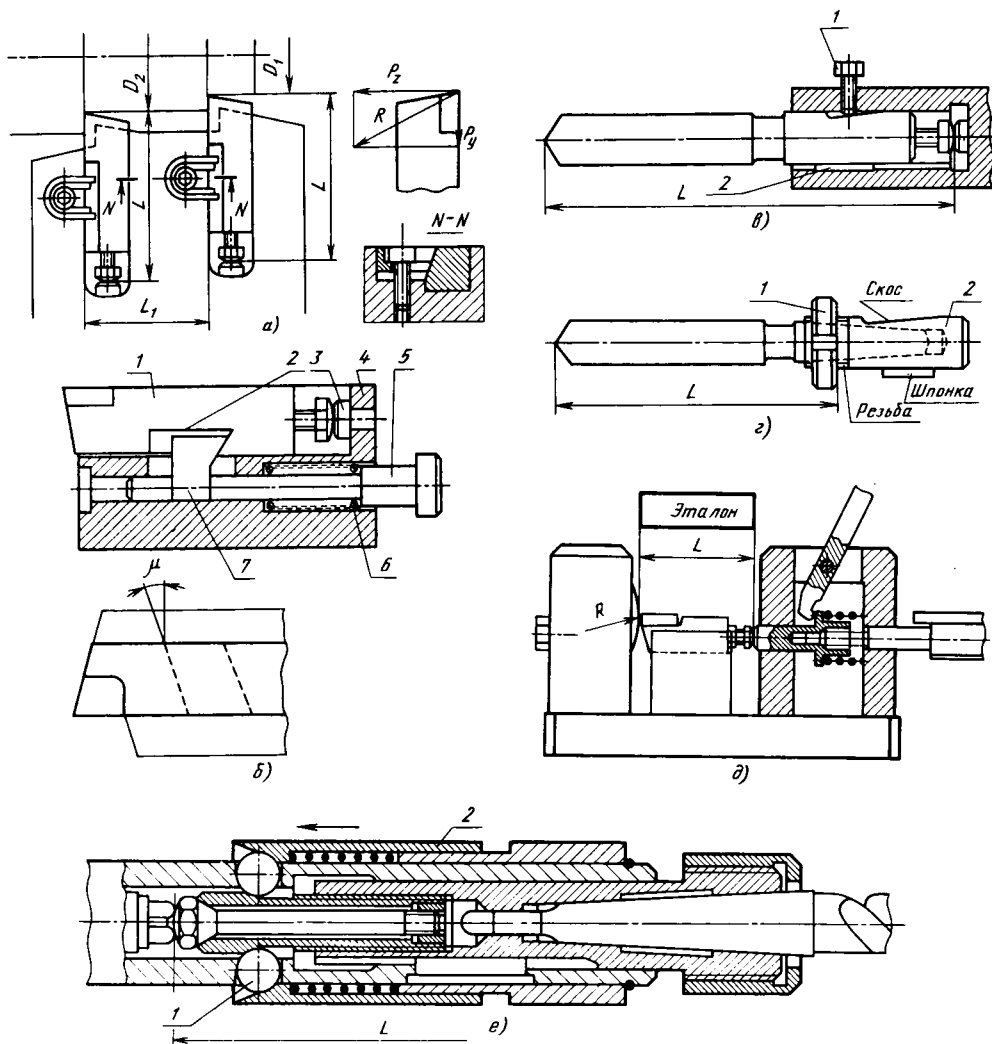


Рис. 4.4. Устройства для быстросменной бесподналадочной замены инструмента

против шарика, и инструмент можно свободно снять.

Бесподналадочная замена инструмента обеспечивается наличием элементов регулирования его размера по длине или размера вылета. Элементы регулирования компенсируют также изменение размеров инструмента после переточки.

На резцах требуемую длину получают применением регулировочных винтов со сферической головкой, которая должна касаться упора резцедержавки. Разность

расстояния от упора до оси шпинделя и длины настроенного на размер резца равна диаметру обработки. Точный вылет вершины резца относительно боковой поверхности державки обеспечивается изготовлением (для резцов с многогранной пластиной), заточкой (для составных резцов) или регулировкой винтами, расположенными по нормали к боковой поверхности. В случаях расположения в одной резцедержавке нескольких резцов (см. рис. 4.4, а) точность их взаимного распо-

ложения обеспечивается точным расположением пазов под резцы.

Бесподналадочная замена осевого инструмента достигается применением регулировочных винтов, обеспечивающих получение требуемой длины инструмента (см. рис. 4.4, в) или регулировочных гаек (рис. 4.4, г), позволяющих получить необходимый вылет инструмента.

Настройка на размер инструмента вне станка осуществляется либо в приспособлениях, либо на специальных приборах. Приборы для настройки инструмента на размер, например моделей БВ-2010, БВ-2011, обладают большой универсальностью и могут применяться для настройки как резцов, так и осевого инструмента, имеют оптическую систему отсчета координат и обеспечивают точность настройки в пределах 0,01 мм. Приборы моделей БВ-2013, БВ-2014, БВ-2015 и БВ-2016 с окулярным методом визирования предназначены для настройки инструментов станков сверлильно-расточной и фрезерной групп, обеспечивают точность настройки по длине до 0,01 мм и по диаметру до 0,002 мм.

Как правило, приспособления для настройки инструмента не обладают универсальностью. На рис. 4.4, д приведена схема приспособления для настройки резцов. Нулевое положение индикатора устанавливается по эталону и затем с помощью регулировочного винта достигается размер резца, равный размеру эталона с погрешностью до 0,01 мм. При точности настройки резцов $\pm 0,01$ мм погрешность диаметральных размеров деталей составляет около 0,05 мм. На приспособлении упор для режущей кромки резца представляет собой цилиндрическую поверхность с радиусом R , равным радиусу обработки. Такое исполнение упора обеспечивает автоматическую компенсацию погрешности расстояния от опорной поверхности до вершины резца.

Приведенные конструктивные решения быстросменной бесподналадочной замены инструмента обеспечивают снижение потерь времени на замену и настройку инструмента, но предусматривают выполнение этих операций наладчиком. Нормы времени на настройку инструмента для

станков с ЧПУ в зависимости от качества инструментальной оснастки и вида инструмента составляют 5—10 мин, а для инструмента автоматических линий — до 2 мин.

Механизмы автоматической замены инструмента (см. рис. 4.2, позиция б). Быстросменный инструмент обеспечивает сокращение только части потерь времени, связанной с заменой инструмента после его износа. Полного устранения этих потерь времени можно достигнуть применением механизмов, обеспечивающих автоматическую замену инструмента во время вспомогательного хода автомата без перерыва цикла его работы. Механизмами автоматической замены следует оснастить главным образом лимитирующие операции, для которых характерна низкая стойкость инструмента, а остановка станка повлечет за собой остановку всей линии.

Основные принципы конструирования механизмов автоматической замены инструмента сводятся к следующему:

- применение бесподналадочной замены инструмента, обеспечивающей получение заданного размера детали;

- использование, где это возможно, сил резания для крепления инструмента;

- механизм замены инструмента должен получать движения от механизмов станка или специального гидропривода;

- заполнение или смена магазина инструментов должна производиться без остановки станка.

Размещение механизмов автоматической замены инструмента должно быть предусмотрено конструкцией станка.

На рис. 4.5, а показана схема механизма для автоматической замены предварительно настроенных на размер резцов 1, помещенных в магазин 2. При перемещении в гидроцилиндре 5 поршня 4 с толкателем вправо очередной резец под действием силы тяжести попадает из магазина на загрузочную площадку. В крайнем правом положении шток 7 поворачивает рычаг 8, перемещая ползун 6 с упором 9, передвигающим изношенный резец вперед. Сферическая головка регулировочного винта раздвигает подпружиненные шарики 10, и резец освобождается.

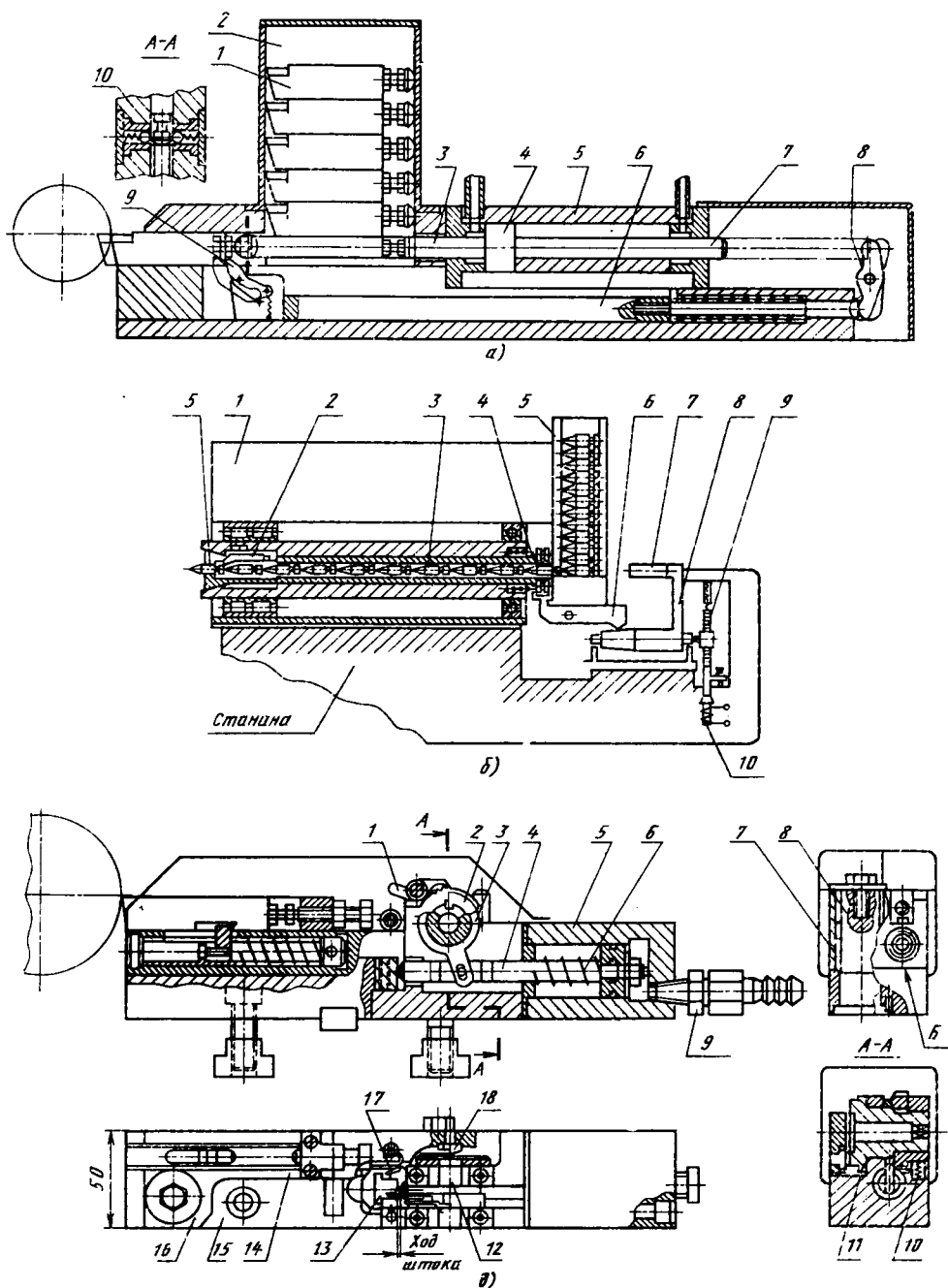


Рис. 4.5. Устройства для автоматической замены и подналадки инструмента

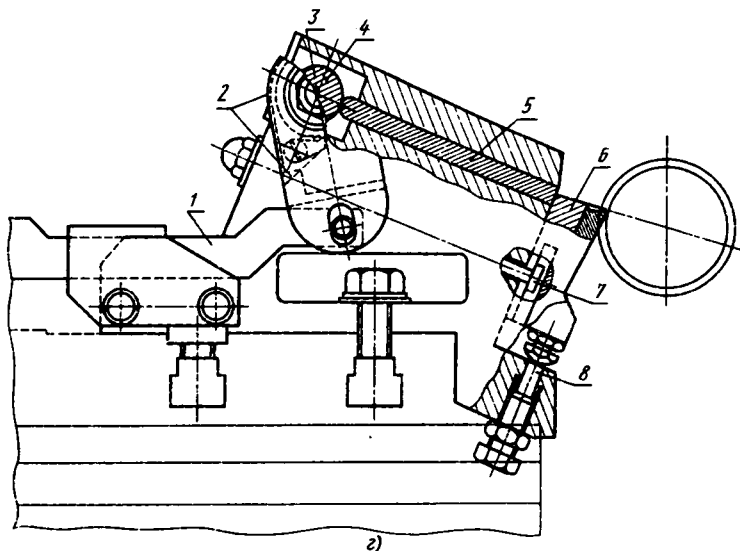


Рис. 4.5. Продолжение

При перемещении поршня влево толкатель 3 передвигает резец с загрузочной площадки в мерный паз державки. Новый резец выталкивает затупившийся в сборник изношенного инструмента. Подпружиненные шарики 10 прижимают регулировочный винт к торцу толкателя, который одновременно является упором.

На рис. 4.5, б приведена схема механизма автоматической замены пальцевых фрез для закругления зубьев у шестерни.

После обработки заданного количества зубчатых колес счетчик циклов включает соленоид 10, соединенный с зубчатой рейкой 9, поворачивающей откидной рычаг 8 в положение, показанное на схеме. По окончании рабочего цикла шпиндельная бабка 1 перемещается и рычаг 6, передвигаясь по скосу откидного рычага 8, открывает кангу 2, закрепляющую фрезу 3. При дальнейшем движении шпиндельной бабки толкатель 7 передвигает фрезы по трубе канги, выталкивая изношенную фрезу в сборник. В начале следующего цикла при перемещении шпиндельной бабки в рабочую позицию рычаг 6 сходит с конической поверхности рычага 8, и канга сжимается под действием пружины 4, а очередная фреза из кассеты 5 поступает в приемник. Возникающие

при резании осевые силы прижимают регулируемый винт фрезы к откидному упору 2, обеспечивая точность осевого положения фрезы в пределах 0,1 мм.

Устройства для автоматического регулирования размеров обработки за период стойкости инструмента (позиции 9—11, см. рис. 4.2) применяют в тех случаях, когда размерная стойкость инструмента не обеспечивает полное использование режущих возможностей инструмента за одну установку. При автоматической подналадке (или регулировании) размеров обрабатываемой детали систематические погрешности обработки компенсируются изменением положения инструмента относительно базовой поверхности (или оси заготовки), осуществляемым по командам измерительных устройств. Максимальная величина подналадки инструмента рассчитывается по формуле $A_n = [\delta_A - (\Delta_n + \omega_r)] / 2$, но для повышения точности обработки может составлять меньшую величину.

На рис. 4.5, в приведена державка с устройством для автоматической подналадки проходного резца. В державке использован «отскок» резца при обратном ходе суппорта. Державка состоит из корпуса 15, заклепываемого на суппорте, и

поворотной резцедержавки 16, сидящей на оси 8 с роликами 7. Поворот резцедержавки осуществляется следующим образом. По команде от измерительного устройства через штуцер 9 воздух поступает в цилиндр 5 и перемещает поршень со штоком 4 до упора во вставку 13, преодолевая усилие пружины 6. Со штоком 4 с помощью штуцера соединен поводок 3 с собачкой 1. При движении поршня влево собачка 1 поворачивает храповое колесо 2, сидящее на кулачке 11. На торце кулачка выполнена спираль, в которую через деталь 18 упирается свободный конец резцедержавки 16. Пружина 17 постоянно прижимает резцедержавку к торцовой поверхности кулачка 11. Поворачиваясь, кулачок давит на резцедержавку 16, которая поворачивается вокруг оси 8 и изменяет положение вершины резца относительно обрабатываемой поверхности. После прекращения подачи воздуха поршень под действием пружины 6 возвращается в исходное положение. Одновременно в исходное положение возвращается и собачка 1. Кулачок 11, удерживаемый подпружинным тормозом 10, остается на месте.

Диапазон подналадки укладывается в один оборот кулачка. Сменные вставки 13 обеспечивают перемещение резца при повороте кулачка на заданное количество зубьев храпового колеса. В автоматическом цикле подналадка осуществляется только в направлении оси детали. В наладочном цикле после разъединения храповика и храпового колеса поворот кулачка может осуществляться в любом направлении. Для фиксации начального положения кулачка 12 на крышке и на лыске кулачка нанесены риски. Крепление резца осуществляется подпружиненной тягой. Регулировочный винт резца упирается в торец винта-упора 14.

На рис. 4.5, г приведена схема державки для фасонного призматического резца, обеспечивающей его автоматическую подналадку. Предварительно настроенный на размер резец 6 крепится в закрытом пазу державки подпружиненной тягой 7, головка которой входит в Т-образный паз резца и прижимает опорную поверхность к державке. В процессе работы составляющая

силы резания P_z воспринимается опорой 8, а радиальная составляющая P_y — подвижной планкой 5, которая перемещается регулировочным кулачком 4, закрепленным на оси 3. Тяга 1, соединенная со штоком гидроцилиндра, перемещает храповый механизм 2 по командам измерительного устройства. Храповый механизм поворачивает регулировочный кулачок на заданный угол, перемещая вершину резца в направлении оси изделия. При смене резца кулачок переставляют в исходное положение. Применение подпружиненного крепления резца позволяет производить его подналадку без ослабления элементов крепления, в этом большое преимущество крепления резцов подпружиненными тягами.

Повышение размерной стойкости инструмента обеспечивается применением на станках адаптивного управления, которое автоматически исключает систематическую переменную погрешность обработки, связанную с увеличением силы резания при износе инструмента. Достоинство адаптивных систем управления состоит в том, что они являются элементами конструкции станка и не требуют создания специальной инструментальной оснастки.

Повышение стойкости инструмента (см. рис. 4.2, позиции 12—14). Увеличение стойкости инструмента обеспечивает снижение затрат на инструмент. Увеличить стойкость можно как способами, применяемыми на универсальном оборудовании, например за счет применения инструментов с износостойкими покрытиями, так и способами, не применимыми на универсальном оборудовании, путем применения СОЖ с расходом 50—100 л/мин. Для этого резцедержавки делаются с отверстиями для подвода СОЖ, а зона резания изолируется от окружающей среды.

Повысить стойкость инструмента можно за счет применения инструмента с подвижными [39] круговыми режущими кромками с принудительным (рис. 4.6, а) или самопроизвольным поворотом пластин (рис. 4.6, б). При подводе суппорта резец 3 (см. рис. 4.6, а) с круглой пластиной 4 касается обрезиненного ролика 1 с храповым механизмом 2 и пластина поворачивается на угол, зависящий от дуги кон-

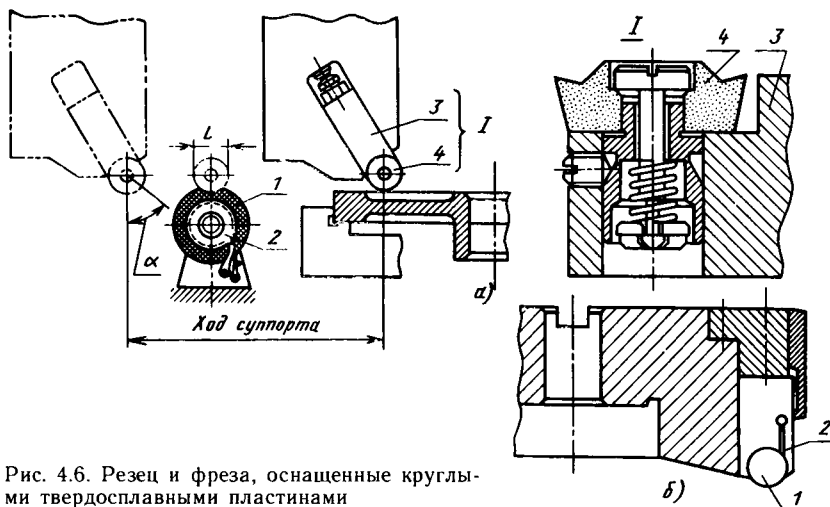


Рис. 4.6. Резец и фреза, оснащенные круглыми твердосплавными пластинами

такта пластины с роликом. При отводе суппорта ролик свободно вращается.

На рис. 4.6, б приведена схема конструкции торцевой фрезы. Круглые твердосплавные пластины 1 свободно установлены в пружинящей обойме 2 и при врезании самопроизвольно поворачиваются на небольшой угол. Стойкость фрезы увеличивается до 15 раз по сравнению с обычными фрезами.

Устройства, обеспечивающие снижение простоев оборудования из-за инструмента. Осуществление полной автоматизации обработки деталей резанием невозможно без информации о состоянии режущих кромок инструмента, о характере стружки (формировании ее в виде, обеспечивающем свободный отвод из зоны резания и от станка).

Устройства, обеспечивающие снижение простоев оборудования по вине инструмента (рис. 4.7), на станках автоматических линий применяют редко из-за множества работающих инструментов и ограниченности пространства для их размещения. Эти устройства применяют главным образом для мелкогабаритного инструмента (сверл, метчиков), часто выходящих из строя в результате поломок, или для инструментов, работа которых протекает с интенсивным изнашиванием.

Для станков ГПС применение устройств обязательно, иначе не может быть обеспе-

чена их непрерывная работа в течение длительного времени.

Устройства информации об износе инструмента (см. рис. 4.7, позиции 4—10) предусматривают как прямые (позиции 4—6), так и косвенные методы измерения износа (позиции 8—10). Для измерения износа прямыми методами применяют датчики касания, которые регистрируют либо размерный износ, либо, при их перемещении, износ по задней поверхности. Конструкция датчика приведена на рис. 4.8, а. Корпус 4 закрепляется на подвижном узле 1 станка. В корпусе находится подпружиненная пластина 3, в которую вставлен измерительный наконечник 6. Наконечник проходит через электромагнит 5. В обмотке электромагнита создается переменное магнитное поле, вызывающее колебания наконечника. При касании наконечником блока его колебания нарушаются, что регистрируется электронной системой 8 с усилителем 7, а координаты соответствуют измеряемому размеру. Точность измерения ± 1 мкм. Датчик защищают от стружки. Его применяют на станках с ЧПУ и в ГПС не только для измерения износа, но и для определения фактических координат вершины лезвия инструмента с целью автоматической корректировки управляющих программ.

Система технического зрения представляет собой специальную телевизионную

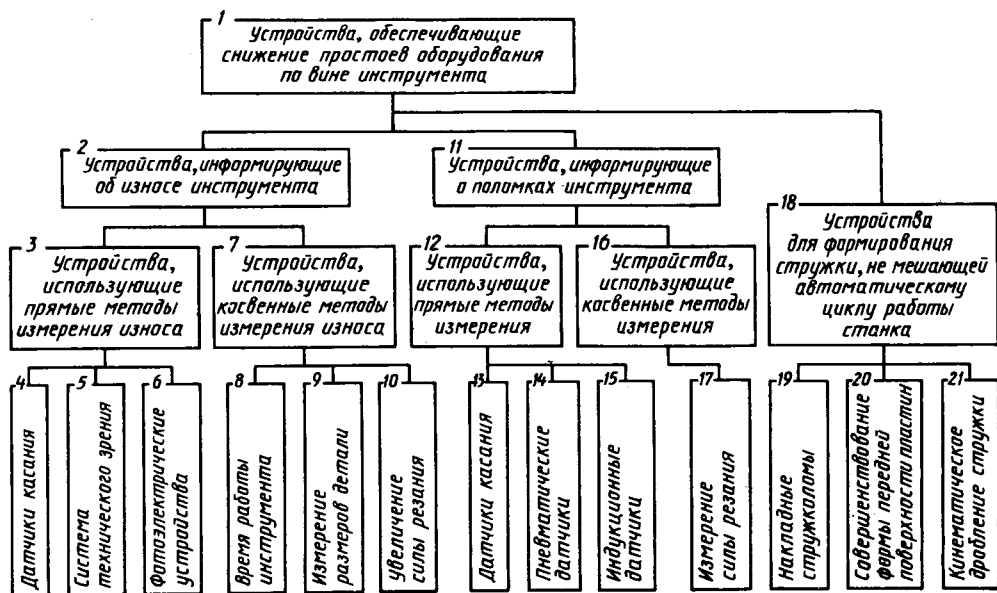


Рис. 4.7. Классификация инструментальной оснастки, обеспечивающей снижение внеплановых простоев оборудования по вине инструмента

установку, позволяющую на расстоянии до нескольких метров наблюдать инструмент и оценивать его износ. Фотоэлектрический метод измерения (рис. 4.8, б) износа основан на том, что угол отражения луча света на изношенном участке отличается от угла отражения на неизношенном участке резца. Отраженный луч улавливается фототранзистором. Метод позволяет оценивать и износ зубьев вращающейся фрезы. Длительность отраженных импульсов пропорциональна величине износа [33].

Величину износа инструмента можно оценивать по времени его работы, т. е. по числу изготовленных деталей, определяемых по счетчику циклов. Этот метод может применяться в тех случаях, когда износ инструмента происходит без сколов режущей кромки. Оценивать величину износа можно и по изменению размеров детали, но для этого необходимо измерение каждой детали.

Недостаток перечисленных методов оценки износа инструмента заключается в их пассивности, так как измерения произ-

водятся после окончания процесса резания и оценивается фактический износ.

Наиболее перспективными [26] методами косвенной оценки величины износа инструмента являются методы, основанные на измерении составляющих силы резания в процессе обработки деталей. Эти методы применимы для станков ГПС, так как на них одновременно работают. 1—2 инструмента. Для измерения сил резания используют либо пьезоэлектрические динамометры, либо тензометрические датчики, устанавливаемые в шпинделе станка. Тензометрический датчик (рис. 4.8, в) состоит из наружной 6 и внутренней 7 втулок, соединенных с помощью электронно-лучевой сварки. Между втулками имеется вакуумная полость 5. На внутренней втулке наклеены тензометрические датчики 3, концы которых через керамический изолятор 2 подсоединены к кабелю 1. Во внутренней втулке предусмотрены посадочные места 4 для подшипников шпинделя станка. Под действием усилия резания внутренняя втулка и тензометрические датчики деформируются.

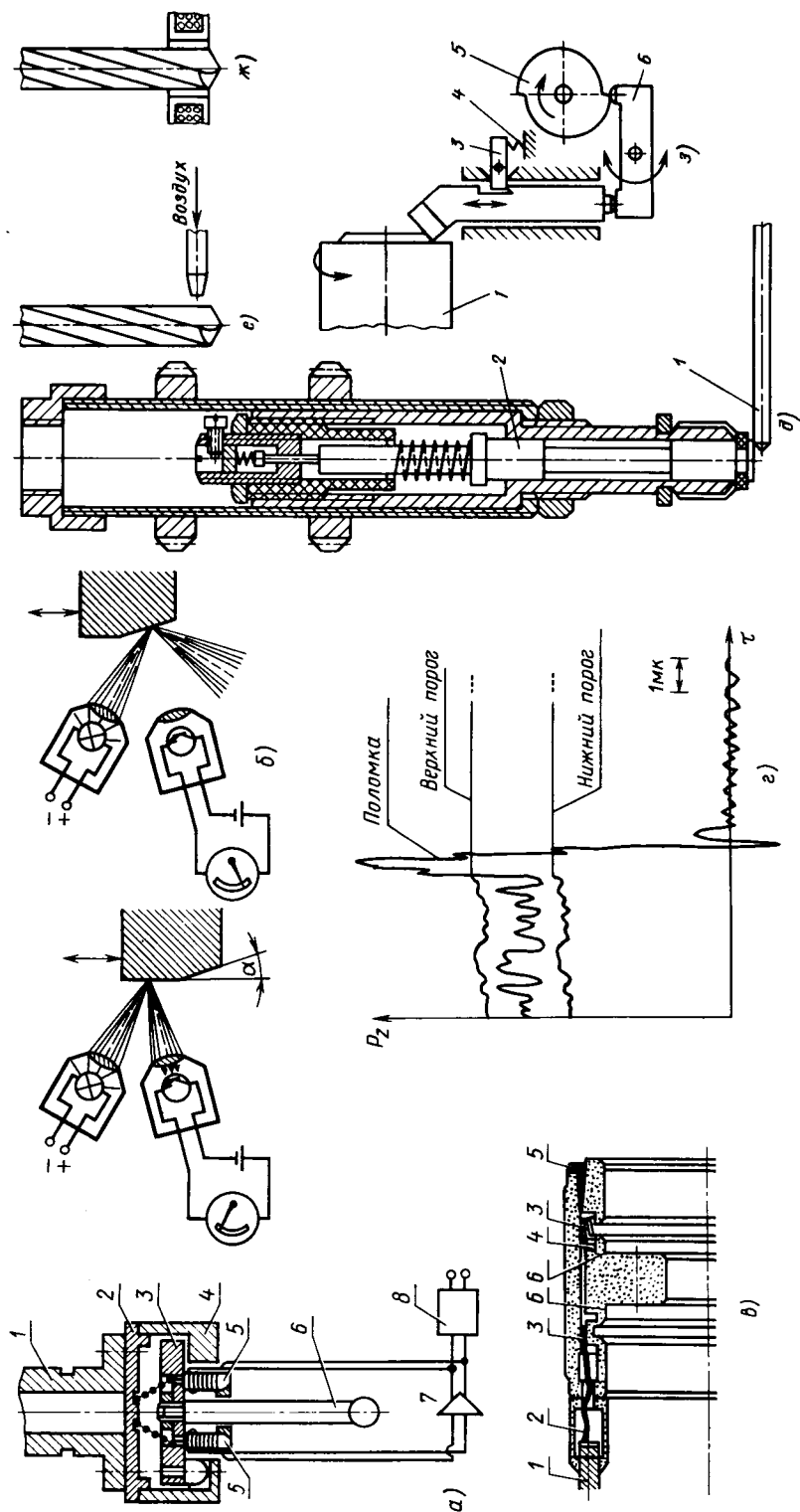


Рис. 4.8. Устройства, обеспечивающие снижение внеплановых простоев оборудования

ся пропорционально величине сил резания. Датчики устанавливают на станках сверлильно-расточной и фрезерной групп, на которых работает один инструмент. На токарных станках револьверная головка монтируется на пьезоэлектрическом динамометре. Электрические сигналы от датчиков сил резания, крутящих моментов или силы потребляемого тока поступают в электронные устройства, называемые мониторами. Если износ и соответствующая ему сила резания превышают установленный верхний порог, то дается сигнал на замену инструмента. Если сила резания внезапно увеличивается, а затем на время 1 мс уменьшается до нуля (рис. 4.8, *г*), то монитор воспринимает это как поломку инструмента и дает команду на выключение подачи. Время выключения подачи не превышает времени одного оборота шпинделя станка, поэтому инструмент дополнительных повреждений не имеет.

На рис. 4.8, *д, е, ж* (позиции 13, 14, 15, рис. 4.7) приведены датчики касания, пневматический и индуктивные, сигнализирующие о том, что инструмент уже сломался. Они применяются для мелкогабаритного инструмента. Каждому датчику соответствует определенная схема исполнительных механизмов для остановки станка. При использовании датчика касания (рис. 4.8, *д*) команда на повторение цикла дается только тогда, когда головка плунжера 2 коснется вершины сверла 1.

Сокращение простоев оборудования, вызываемых неудовлетворительным формированием стружки (см. рис. 4.7, позиции 19—21). Получение дробленой стружки при обработке на токарных станках вязких материалов является важнейшей задачей. Для ломания стружки применяют накладные стружколомы, уступы и лунки на передней поверхности резца, а также различные формы передней поверхности на многогранных твердосплавных пластинах. Однако перечисленные устройства не всегда обеспечивают ломание стружки, особенно при подачах до 0,2 мм/об. В таких случаях применяют кинематическое дробление стружки, при котором суппорт станка перемещается с подачей S_0 , мм/об, а резец в резцедержавке

имеет возвратно-поступательное движение с амплитудой, равной (0,8...1) S_0 . Кинематическое дробление позволяет получить стружку любой длины за счет выбора частоты колебаний резца. Частота колебаний ν , Гц, выбирается по формуле $\nu = \pi d n / (k_1 l_{стр})$, где d — диаметр детали, мм; n — частота вращения шпинделя станка, мин⁻¹; k_1 — коэффициент укорочения стружки; $l_{стр}$ — требуемая длина стружки, мм. Схема механического устройства для кинематического дробления стружки приведена на рис. 4.8, *з*.

Возвратно-поступательное движение резца 2 относительно обрабатываемой заготовки 1 осуществляется от кулачка 5 через рычаг 6. Контакт резца с датчиком 6 обеспечивается рычагом 3 и пружиной 4.

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ. Назначение станков с ЧПУ — автоматизированная комплексная обработка сложных деталей мелкими сериями.

Станки с ЧПУ работают в автоматическом режиме, поэтому их инструментальная оснастка должна удовлетворять требованиям автоматизированного производства и, кроме того, обладать гибкостью, позволяющей без переналадки выполнять разнообразные технологические операции при изготовлении различных деталей. Для выполнения каждой операции (перехода) применяя инструментальные блоки, представляющие собой функциональную сборочную единицу в виде режущего и вспомогательного (зажимного) инструмента. Инструментальные блоки должны обеспечивать высокую точность позиционирования (установки) инструмента по отношению к базам станка, возможность регулирования размеров и автоматическую замену блоков. Решение данной задачи достигается применением системы вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ. Применяемая в машиностроении система [20] вспомогательного инструмента имеет три подсистемы (рис. 4.9):

а) подсистему вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп;

б) подсистему вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком для станков с ЧПУ токарной группы;

в) подсистему вспомогательного инструмента с базирующей призмой для станков с ЧПУ токарной группы.

Для снижения затрат на вспомогательный инструмент и для удобства эксплуатации важным условием эффективности подсистемы вспомогательного инструмента является его минимальное количество, обеспечивающее возможность закрепления максимально возможного числа инструментов различных типов и размеров. Важным фактором унификации инструментальной оснастки является принятие единых исполнений присоединительных поверхностей инструмента и станков.

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп. Инструментальные блоки собирают на базе подсистемы вспомогательного инструмента для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп (рис. 4.9, а), которая позволяет применять любой требуемый инструмент. Хвостовики инструментов (поз. 1—15) выполняются по ГОСТ 25827—83 (рис. 4.10, а и табл. 4.1). Предусмотрена единая конструкция хвостовиков для станков как с автоматической сменой, так и ручной сменой инструмента. Место захвата манипулятором представляет собой канавку трапециoidalной формы с углом 60° . Фрезеровка на фланце под углом 90° обеспечивает при автоматической замене расположение шпоночных пазов блока против шпонок шпинделя. Каждый вид вспомогательного инструмента имеет до 24 типоразмеров, отличающихся длиной l (см. рис. 4.9, а) и размерами посадочного места под режущий инструмент. Допускаемое биение посадочного места для инструмента или регулируемой по длине оправки относительно хвостовика с конусностью 7:24 составляет 0,005—0,01 мм. Для станков классов точности Н и П установлена степень точности хвостовиков АТ5, для станков классов точности В и А—АТ4. Вспомогательный инструмент изготавливают из стали 18ХГТ с цементацией и закалкой до твердости 53—57 HRC, что обеспечивает достаточную долговечность и отсутствие деформаций после термической обработки.

Унифицированы цилиндрические хвостовики и посадочные размеры отверстий для блоков, регулируемых по длине (см. рис. 4.9, а, поз. 9 и 16—25). Конструкция и размеры цилиндрических хвостовиков приведены на рис. 4.10, б и в табл. 4.2. Посадочное отверстие в державке (поз. 9) выполняется по 6-му качеству.

Для закрепления инструментов с цилиндрическим хвостовиком подсистемой предусмотрены цанговые патроны и оправки с диапазонами диаметров хвостовиков 3—25 мм и 20—40 мм. Цанги имеют конусность 1:5, изготавливаются из стали 60С2А с термообработкой до твердости 49—53 HRC. На станках сверлильно-расточной и фрезерных групп применяются как стандартные конструкции инструментов, так и выполненные по отраслевым стандартам и отличающиеся от стандартных более точным изготовлением режущей и присоединительной части. Так, сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком диаметром 3—20 мм по ОСТ2 И20-1—80 для станков с ЧПУ отличаются от стандартных (ГОСТ 10902—77) уменьшенными допусками на симметричность сердцевины, осевое и радиальное биение режущих кромок. Хвостовики сверл выполнены цилиндрическими, без обратной конусности, что обеспечивает более надежное закрепление в цанговых патронах. Задняя поверхность выполняется либо двухплоскостной, либо винтовой. Обе эти формы задней поверхности обеспечивают снижение осевой силы на 15—20 %, увеличивают стойкость и надежность сверла, точность отверстий за счет уменьшения разбивки и точность координат центров отверстий.

Кроме инструментов традиционной конструкции и номенклатуры применяют инструменты, обладающие повышенными надежностью, точностью, регулируемые по размеру и комбинированные, обеспечивающие совмещение переходов, а следовательно, повышение эффективности оборудования. Примерами таких инструментов являются перовые сверла, более жесткие и прочные по сравнению со спиральными, обеспечивающие большую точность обработки и меньшую стоимость. При обработке коротких отверстий применяют

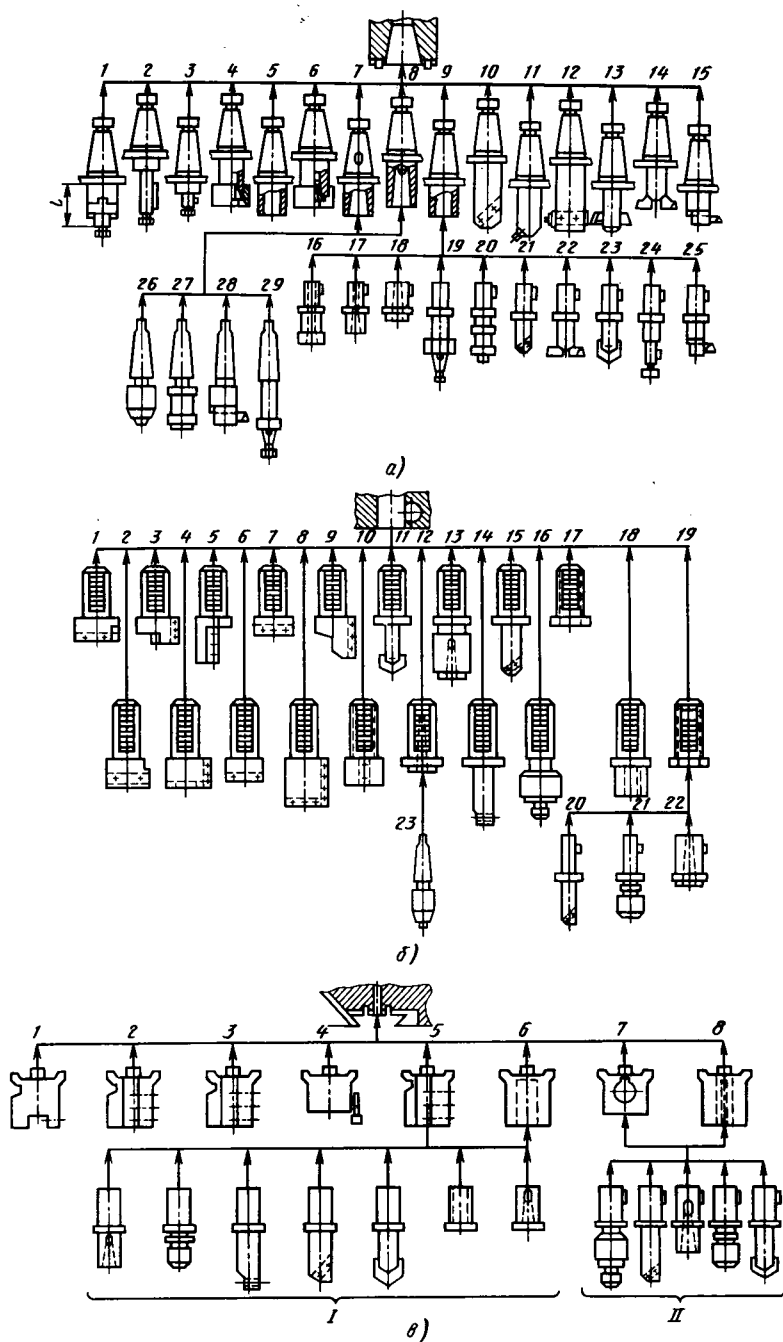


Рис. 4.9. Вспомогательный инструмент для станка с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп:

а: 1 — оправка для насадных фрез с поперечной шпонкой; 2 — оправка для насадных цилиндрических фрез с продольной шпонкой; 3 — оправка для насадных торцовых фрез с продольной шпонкой; 4 — патрон цанговый с диапазоном зажима 20—40 мм; 5 — втулка переходная для концевых фрез; 6 — патрон цанговый с диапазоном зажима 5—20 мм; 7 — втулка переходная для инструмента с конусом Морзе с

4.1. Размеры хвостовиков, мм

Обозначение конуса по ГОСТ 25827—83	D (пред. откл. $\pm 0,15$)		D_1		D_2 (пред. откл. по $h12$)		D_3 (пред. откл. по $h8$)		D'_4 , не более		d_1		d_2 (пред. откл. по $g5$)		L (пред. откл. $h11$)		l'_1 , не менее		l_2 (пред. откл. $-0,3$)		l_3		a_1 (пред. откл. $\pm 0,1$)		l (пред. откл. повышен- ной точности $\pm 0,1$, нор- мальной точности $\pm 0,4$)		Торцовое по- верхности B относи- тельно по- верхности A	
																									повы- шен- ной точ- ности		нормаль- ной точ- ности	
30	50	31,75	46	55,07	44	13	4	68,4	8	15,5	6	5,6	8	0,01	0,02													
40''	63	44,45	58	69,34	55	17	5	93,4	10	18,5	8	6,6	10	0,01	0,02													
45	80	57,15	74	87,61	68	21	6	106,8	13	24,0	10	9,2	12	0,01	0,02													
50''	100	69,85	94	107,61	85	25	6	126,8	16	30,0	11	9,2	12	0,01	0,02													

Примечание. ' — размеры D_4 и l_1 определяют пространство для захвата манипулятором, " — хвостовики предпочтительного применения.

сверла, оснащенные многогранными пластинами, обладающие высокой надежностью, точностью и обеспечивающие высокую производительность. Конструкция сверл приведена в подразделе 2.4.

С целью сокращения номенклатуры инструмента применяются регулируемые

по диаметру расточные головки (рис. 4.11, а) с диапазоном регулирования от 12 до 35 мм. Для обработки точных отверстий используют резцы-вставки с микрометрическим регулированием вылета, оснащенные припаянной или многогранной пластиной из твердого сплава

лапкой; 8 — втулка переходная с конусом Морзе с резьбовым отверстием; 9 — державка для регулируемых патронов, втулок и оправок; 10 — оправка расточная для черного растачивания отверстий; 11 — оправка расточная для чистового растачивания; 12 — оправка сборная для чистового растачивания; 13 — оправка для подрезных пластин; 14 — головка расточная двузубая; 15 — головка расточная универсальная; 16 — патрон регулируемый цапговый с диапазоном зажима 5—25 мм; 17 — втулка регулируемая с внутренним конусом Морзе; 18 — втулка регулируемая длинная с внутренним конусом Морзе; 19 — оправка регулируемая для насадных зенкоров и разверток; 20 — патрон регулируемый резьбонарезной; 21 — оправка регулируемая для черного растачивания; 22 — оправка регулируемая расточная двузубая; 23 — оправка регулируемая для крепления пластин перовых сверл; 24 — оправка регулируемая для дисковых фрез; 25 — патрон расточной регулируемый; 26 — патрон сверлильный трехкулачковый с конусом Морзе; 27 — патрон резьбонарезной с конусом Морзе; 28 — патрон расточной с конусом Морзе; 29 — оправка для насадных зенкоров и разверток с конусом Морзе;

б: 1 — резцедержатель с перпендикулярным открытым пазом; 2 — резцедержатель с перпендикулярным закрытым пазом; 3 — резцедержатель с параллельным открытым пазом; 4 — резцедержатель с перпендикулярным и параллельным открытыми пазами; 5 — резцедержатель с осевым открытым пазом; 6 — резцедержатель с перпендикулярным открытым пазом для отрезных резцов; 7 — резцедержатель несимметричный с перпендикулярным открытым пазом; 8 — резцедержатель удлиненный с перпендикулярным открытым пазом; 9 — резцедержатель удлиненный с параллельным открытым пазом; 10 — втулка переходная; 11 — сверло перовое; 12 — втулка переходная с конусом Морзе; 13, 22 — втулка переходная (плавающая) с конусом Морзе; 14 — борштанга расточная с перпендикулярным пазом; 15, 20 — борштанга расточная с наклонным пазом; 16, 21 — патрон для метчиков; 17 — втулка переходная разжимная; 18 — втулка переходная со шпоночным пазом; 19 — втулка переходная укороченная со шпоночным пазом; 23 — патрон трехкулачковый;

в: 1 — резцедержатель с открытыми и закрытым параллельными пазами; 2 — резцедержатель с открытым перпендикулярным пазом; 3 — резцедержатель двухсторонний; 4 — распределитель охлаждающей жидкости; 5 — резцедержатель трехсторонний; 6 — резцедержатель для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком со смещенным отверстием; 7 — держатель для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком с отверстием, параллельным его базовой поверхности; 8 — держатель для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком с отверстием, перпендикулярным его базовой поверхности; 10 — инструменты и переходные втулки, устанавливаемые в резцедержатель; 11 — инструменты и переходные втулки, устанавливаемые в держатели 7 и 8

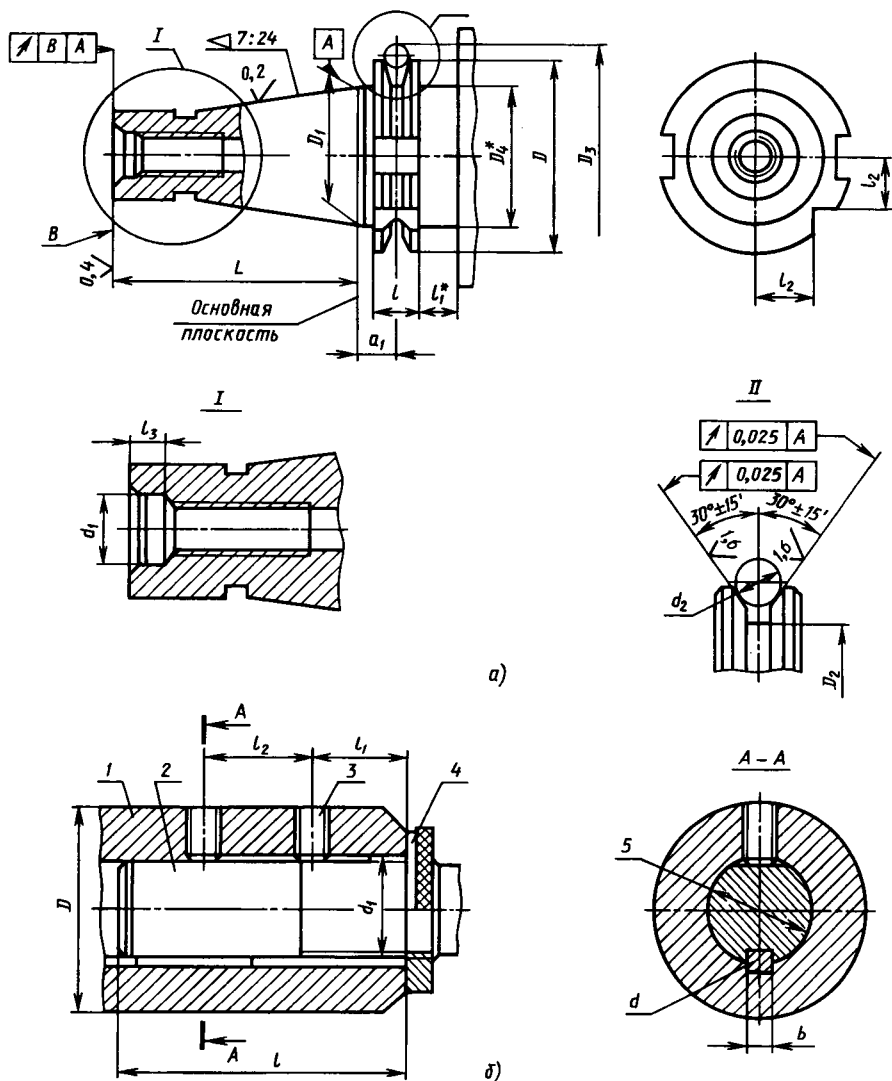


Рис. 4.10. Хвостовики вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп

4.2. Размеры цилиндрических хвостовиков, мм

$d \frac{H6}{g5}$	$d_{\text{тран}}$	D	l	l_1	l_2	$b \frac{c11}{H9}$
36	36×3	63	106	20	30	8
48	48×3	126	126	20	37	10

(рис. 4.11, б). Конструкции вставок отличаются большим разнообразием. Конструкции комбинированных инструментов приведены на рис. 4.11, в.

Примеры инструментальных блоков [20], регулируемых по длине, даны на рис. 4.11, г — з. На рис. 4.11, г приведен блок с регулируемой оправкой для дисковых фрез диаметром 50—80 мм и шириной

5—16 мм, регулирование по длине 45 мм. На рис. 4.11, *д* и *е* показаны блоки для сверл с коническим и цилиндрическим хвостовиком, на рис. 4.11, *ж* — регулируемая оправка, оснащенная резцом-вставкой с микрометрическим регулированием вылета. На рис. 4.11, *з* приведен регулируемый резьбонарезной патрон, предназначенный для нарезания резьбы метчиком в сквозных и глухих отверстиях. Патрон состоит из корпуса 4, сменного хвостовика 7, предохранительной шариковой муфты 5, выдвижного метчикодержателя 3, быстросменных вставок 2 для метчиков. Величина крутящего момента регулируется гайкой 6. Метчикодержатель возвращается в исходное положение после нарезания резьбы и выхода метчика из нарезанного отверстия с помощью пружины 8. Нарезание резьбы происходит путем самозатягивания метчика благодаря выдвижению метчикодержателя. Замена вставки 2 производится нажатием на втулку 1 до совмещения оси канавки втулки с осью шарика 9.

Для закрепления блоков в шпинделе станка в резьбовое отверстие конуса 7:24 вворачивается болт со специальной головкой, которую захватывает цанговый зажим (см. рис. 4.11, *з*).

Точность позиционирования и податливость инструментальных блоков. Точность обработки отверстий в значительной степени зависит от точности позиционирования и проявляется в биении вершины лезвия расточного инструмента и податливости инструментальных блоков [20]. Допустимые величины биения и податливости инструментальных блоков приведены в табл. 4.3. Указанная точность может быть получена правильным выбором конструкции и точности изготовления присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента при соответствующей точности изготовления режущего инструмента.

Источником погрешностей позиционирования являются относительные биения присоединительных поверхностей блоков и перекосы в соединениях из-за допусков на точность изготовления присоединительных поверхностей.

4.3. Допустимое биение режущих кромок инструмента после установки инструментальных блоков в шпинделе станка и допустимая податливость блоков

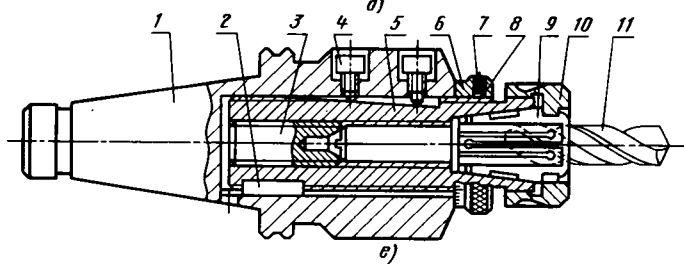
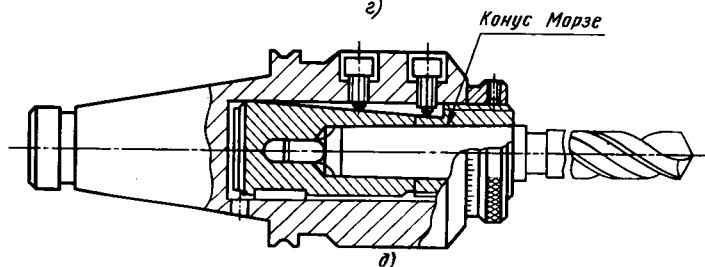
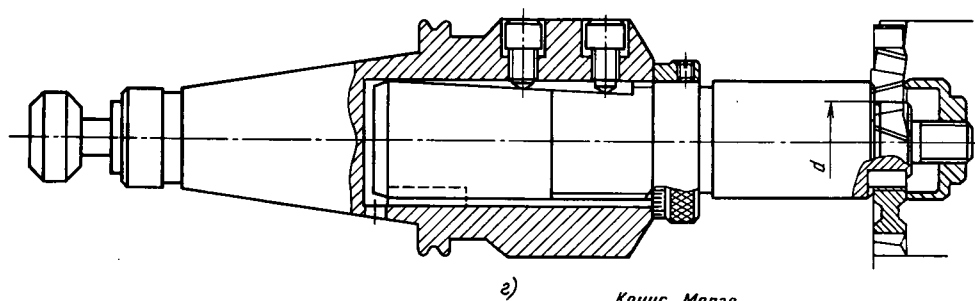
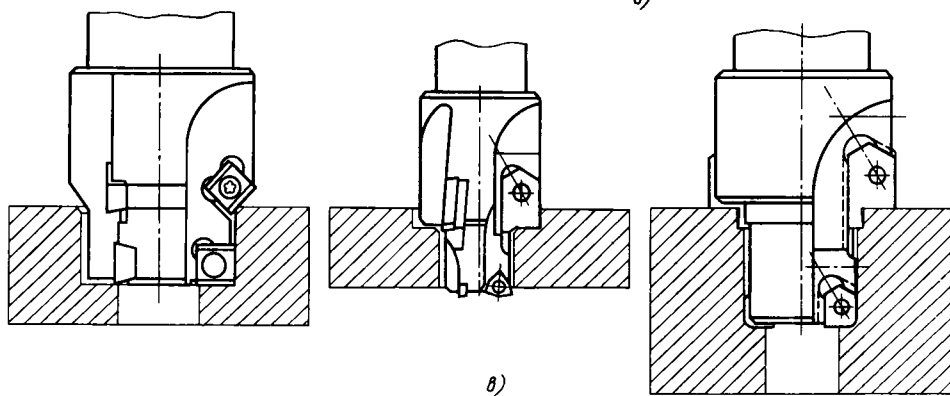
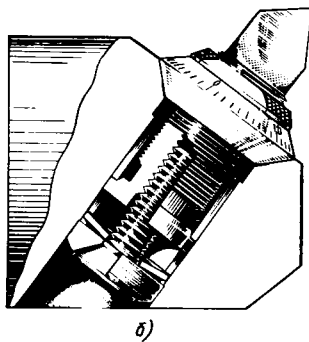
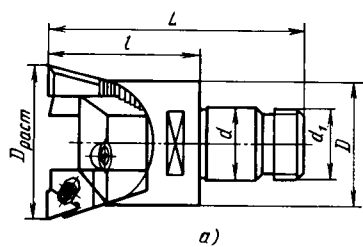
Вид инструмента	Допустимое биение, мм	Допустимая податливость, мкм/Н
Сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 6—18 мм	0,056	0,292
Сверла с коническим хвостовиком диаметром 18—30 мм	0,071	0,186
Зенкеры и развертки диаметром до 50 мм	0,062	—
Зенкеры и развертки диаметром до 120 мм	0,071	—
Расточные оправки для полустойковой обработки отверстий диаметром 22—180 мм	0,03	0,110
Расточные оправки для чистой обработки отверстий, диаметром, мм:	0,005	0,115
25—80	0,005	0,115
80—180	0,01	0,075

Применение теоретико-вероятностных методов позволяет рассчитать биение инструмента, получаемое в результате погрешностей изготовления вспомогательного инструмента.

Угловые ошибки звеньев (перекосы осей) и векторные ошибки (параллельное смещение осей, равное половине биения) элементов инструментальных блоков можно суммировать путем приведения перекосов осей к векторному виду в плоскости замыкающего звена (биение режущей части) через передаточное отношение, которое учитывает фактическую длину элемента блока [12, 20].

Так, если известно, что биение контрольной оправки длиной 100 мм в цилиндрическом соединении, выполненном по 5-му качеству точности, составляет 3,2 мкм, то биение инструмента с вылетом 150 мм относительно соединения будет в 1,5 раза больше, и для данного элемента конструкции блока передаточное отношение $A = 150/100 = 1,5$.

Погрешность позиционирования вершины лезвия инструмента (половину бие-



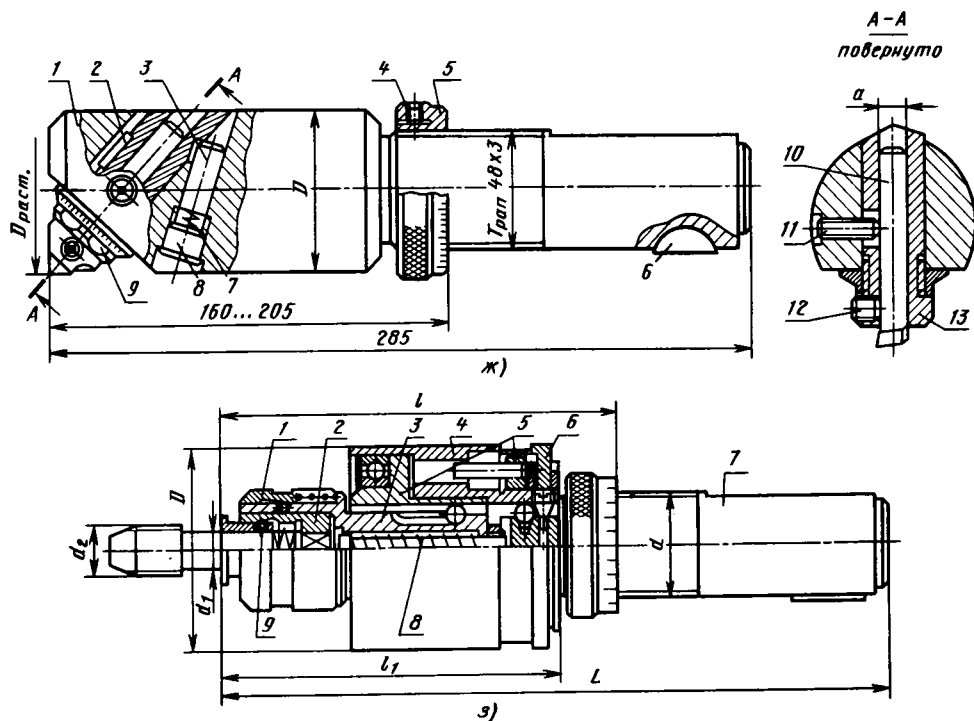


Рис. 4.11. Инструменты и инструментальные блоки станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп:

з: 1 — хвостовик; 2 — шпонка; 3 — упор; 4 — винт; 5 — хвостовик цангового патрона; 6 — регулировочная гайка; 7 — стопорный винт; 8 — прокладка; 9 — цанга; 10 — гайка; 11 — сверло; ж: 1 — корпус; 2 — шпонка; 3 — штифт; 4 — стопорный винт; 5 — гайка; 6 — шпонка; 7 — пружина; 8 — винт; 9 — гайка микрометрического регулирования; 10 — резец; 11 — винт крепления резца; 12 — винт; 13 — резцедержатель

ния) при установке блока в шпиндель станка можно рассчитать по формуле

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \sqrt{\sum_1^n (e_i k_i A_i)^2};$$

где e_{Σ} — половина допуска биения режущей части как замыкающего звена; k_{Σ} — коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена; n — число элементов инструментального блока, влияющих на точность позиционирования, включая погрешности шпинделя станка и перекос в соединении конусов 7:24; $e_i A_i$ — принятое за скалярную величину произведение векторной величины e_i на свое передаточное отношение A_i ; k_i — коэффициент относительного рассеяния размеров соединительных поверхностей вспомогательного инструмента.

Величина k_{Σ} рассчитывается по формуле

$$k_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_1^n e_i} \left[\sqrt{\sum_1^n (e_i k_i)^2} - \sqrt{\sum_1^n e_i^2} \right].$$

Значения величин k_i и e_i определяются из табл. 4.4—4.6.

Точность обработки зависит от деформации инструментальных блоков. Погрешности, вызванные деформацией инструментальных блоков, могут составлять до 60 % погрешности обработки. Деформация инструментальных блоков регламентируется допустимой податливостью, т. е. величиной деформации блока, мкм/Н, в точке приложения силы [20]. Допустимая податливость для некоторых видов инструмента в инструментальных блоках приведена в табл. 4.3.

4.4. Значения коэффициентов k_i

Способ получения поверхности	Вид поверхности	k_i
Наружное шлифование в центрах	Конусная (конус Морзе)	1,17
	Конусная (7 : 24)	1,51
	Конусная (1 : 5)	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Внутреннее шлифование	Конусная (конус Морзе)	1,17
	Конусная (7 : 24)	1,17
	Конусная (1 : 5)	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Бесцентровое шлифование	Конус Морзе	1,03

4.5. Значение биения $2e$ инструмента на вылете 100 мм в зависимости от погрешности изготовления конусов, мкм

Конусность	Степень точности конусов							
	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10
7:24	1	1,2	1,3	2,6	5	12	—	—
Морзе (1:20)	—	—	9,5	10,5	15,0	18,0	20,0	24,5
1:5	—	—	8	9,0	10	12	13	17

4.6. Значение биения $2e$ инструмента на вылете 100 мм в зависимости от погрешности изготовления цилиндрических соединений, мкм

Диаметр соединения, мм	Квалитет точности изготовления					
	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9
30...50	2,0	3,2	6,4	8,6	12,0	24,0

Инструментальные блоки испытывают деформацию при изгибе или кручении деталей и деформацию контактных поверхностей элементов блока в местах соединений. Деформации первого вида противостоит объемная жесткость, второго вида — контактная жесткость. Объемная жесткость определяется по формулам сопротивления материалов. Контактная жесткость, влияющая на деформацию блока в месте приложения силы, зависит от величины и направления действующ-

щих сил, конструкции и точности изготовления сопряженных поверхностей и т. д. [20].

Упругие контактные деформации в блоке под действием силы P , приложенной на расстоянии L от конца стыка, определяются по формуле

$$y = \delta_0 + \theta L, \quad (4.4)$$

где δ_0 — смещение на краю стыка в результате контактной податливости, мкм; θ — угол поворота в стыке, зависящий от конструкции соединения, мкм/мм.

Для конических поверхностей

$$\delta_0 = \frac{4P\beta c}{\pi D} (\beta L c_1 + c_2);$$

$$\theta = \frac{4P\beta^2 c}{\pi D} (\beta L c_3 + c_4);$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{1}{13cD^3}},$$

где c — коэффициент контактной податливости, мкм·см²/Н, для конусов Морзе $c = 0,003...0,006$ и для конусов 7:24 $c = 0,002$ мкм·см²/Н; c_1, c_2, c_3 — коэффициенты, учитывающие изменение диаметра по длине конического соединения, для конусов Морзе $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, для конусов 7:24 $c_1 = c_2 = 1,35$ и $c_3 = 1$. D — диаметр соединяемых поверхностей.

В тех случаях, когда поверхности стыков шлифованные и имеют высокую твердость, величиной δ_0 в формуле (4.4) можно пренебречь, при расчете контактной деформации можно учитывать только угол поворота в стыке. В этом случае $y = \theta L$.

Приведенные выше формулы не учитывают погрешности в коническом соединении, поэтому для инженерных расчетов значения угла поворота θ/M под действием момента 1 кН·м выбираются по табл. 4.7—4.10. Величина деформации блока под действием силы, нормальной к его оси, может быть определена по формуле

$$y = P \sum_{i=1}^n \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^3}{3EI_i} + \frac{Q}{10^3 M} \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2 \right],$$

где P — нагружающая сила, Н; l_i — длина i -го элемента вспомогательного инструмента, мм; n — число элементов; $E = 2,1 \cdot 10^2$ ГПа — модуль продольной упругости; I_i — осевой момент инерции i -го элемента, мм⁴; θ_i/M — угол поворота i -го соединения, (кН·м)⁻¹.

Податливость блока $P = y/P$ мм/Н.

Модульный принцип конструирования инструментальных блоков. Недостатки подсистемы вспомогательного инструмента для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп (см. рис. 4.9, а) следующие: во-первых, она предусматривает применение большого числа типоразмеров, причем коэффициент использования каждого типоразмера невелик и, во-вторых, она не может быть использована при обработке некоторых ступенчатых отверстий. Эти недостатки устраняются, если применить модульный принцип конструирования инструментальных блоков, заключающийся в том, что вспомогательный инструмент делается не цельным, а сборным, состоящим из стандартных модулей. Такими стандартными модулями являются: державки с посадочным местом для установки в шпиндель станка и посадочным местом для инструмента или удлинителя; удлинители, обеспечивающие необходимую длину блока; переходники, позволяющие изменять диаметр блока; инструментальные головки.

Основной проблемой в создании модульного инструмента является разработка соединительного элемента, который должен обеспечить не только соединение отдельных частей инструмента, но и достаточные жесткость, точность и повторяемость размеров инструмента. Большинство разработанных систем используют соединение, в котором базировочными поверхностями являются цилиндрические поверхности длиной, равной диаметру, и торцовые поверхности с торцовым биением около 0,001 мм. Соосно с цилиндрической поверхностью располагается резьбовая часть с крупным шагом. Сборка модулей осуществляется ввинчиванием одной части в другую до затяжки по торцовой поверхности. Точность цилиндрических направляющих поясков соответствует 5-му качеству, а отверстий —

4.7. Значения угла поворота θ/M в конусах Морзе, (кН·м)⁻¹

Номер конуса	Исполнение	Точность изготовления		
		AT7	AT8	AT9
1	С лапкой	0,2012	0,2097	0,2110
2	С резьбой С лапкой	0,0433 0,0447	0,0436 0,0476	0,0462 0,0499
3	С резьбой С лапкой	0,0118 0,0124	0,0124 0,0141	0,0136 0,0157
4	С резьбой С лапкой	0,0034 0,0046	0,0038 0,0052	0,0046 0,0055
5	С резьбой	—	0,0008	—
6	С резьбой	—	0,00027	—

4.8. Значения угла поворота θ/M в конусах 7:24, (кН·м)⁻¹

Номер конуса	Точность изготовления			
	AT5	AT6	AT7	AT8
40	0,00121	0,00133	0,00142	0,00191
50	0,00020	0,00027	0,00035	—

4.9. Значение угла поворота θ/M в цилиндрических соединениях, (кН·м)⁻¹

Диаметр соединения, мм	Зазор в соединении, мм	Направление внешней силы	
		совпадает с силой затяжки винтов	перпендикулярно к силе затяжки винтов
36	0,014	0,032	0,006
	0,037	0,041	0,0079
48	0,014	0,001	0,0014
	0,026	0,012	0,0032
	0,048	0,016	0,0062

4.10. Значения угла поворота θ/M в цанговом зажиме, (кН·м)⁻¹

Диаметр закрепляемых хвостовиков, мм	Диаметр хвостовика, мм	Стык цанга — корпус патрона	Стыки хвостовик инструмента — цанга — корпус патрона
Св. 20...40	40 20	0,001	0,0026 0,0029
3...20	20 16 12 10 6	0,0019	0,038 0,040 0,047 0,056 0,0103

6-му качеству. Твердость элементов 52—58 HRC, параметр шероховатости $Ra \leq 0,2$ мкм.

Инструментальные блоки (рис. 4.12), спроектированные из стандартных модулей, по сравнению с цельными, обладают повышенной динамической устойчивостью, так как возникающие вибрации гасятся стыками, но их жесткость на 20—30 % ниже жесткости цельных блоков.

Модульный принцип построения инструментальных блоков увеличивает коэффициент использования каждого модуля и обеспечивает снижение расходов на инструментальную оснастку.

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ токарной группы. Для компоновки инструментальных блоков на станках с револьверной головкой и ручной сменой инструмента применяется подсистема вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком и лыской, на которой имеются рифления (см. рис. 4.9, б). Базирование резцедержателя производится по цилиндру хвостовика, обеспечивающему точную угловую установку, и торцу. Крепление блока в револьверной головке производится с помощью клина, который имеет рифления, смещенные относительно рифлений хвостовика [20].

В подсистеме резцедержатели 1—9 позволяют крепить резцы сечением от 16×16 до 40×40 мм. Для обработки наружных поверхностей используются резцедержатели 1, 2, 4, 7—9. Резцедержатели 3 и 5 могут быть использованы для креплений инструмента для обработки

внутренних поверхностей. Все резцедержатели обеспечивают подвод СОЖ от револьверной головки к вершине резца. Переходная втулка 10 позволяет крепить режущий инструмент круглого сечения диаметром 16—40 мм. Для крепления инструмента с конусами Морзе предназначены жесткие 12 или плавающие 13 переходные втулки. Нарезание резьб метчиком производится с использованием патронов для метчиков, конструкция которого аналогична приведенной на рис. 4.11, з.

Подсистема вспомогательного инструмента с базирующей призмой (см. рис. 4.9, в) используется также на станках, имеющих револьверную головку.

Подсистема обеспечивает высокую жесткость инструментальных блоков. Резцедержатель 1 с открытым и закрытым пазами предназначен для крепления резцов 16×16 до 40×40 мм. Резцедержатель двусторонний и может быть использован при любом положении револьверной головки и любом направлении вращения шпинделя. Резцедержатель 2 с открытым перпендикулярным пазом позволяет вынести режущий инструмент за пределы габаритов револьверной головки, улучшая технологические возможности станка. Большой универсальностью обладают трехсторонние резцедержатели 5, которые позволяют крепить два инструмента. Держатели 6 предназначены для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром 30—60 мм. Держатели 7 и 8 также предназначены для крепления инструментов с цилиндрическим хвостовиком.

Достоинством рассмотренных подсистем вспомогательного инструмента является возможность применения резцов, используемых на универсальных станках.

Номенклатура резцов, применяемая на станках с ЧПУ, приведена на рис. 4.13, а. Настройка блоков (рис. 4.13, б) на размер осуществляется на приборах БВ-2011 с установкой вершины резца с точностью до 0,01 мм в перекрестии окуляра микроскопа.

На некоторых типах станков применяют резцовые вставки с регулировочными винтами (рис. 4.13, в) и креплением их в ре-

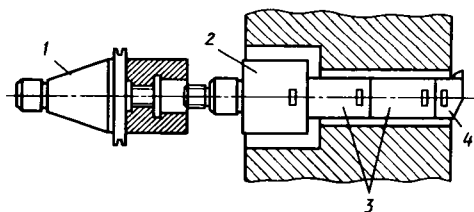
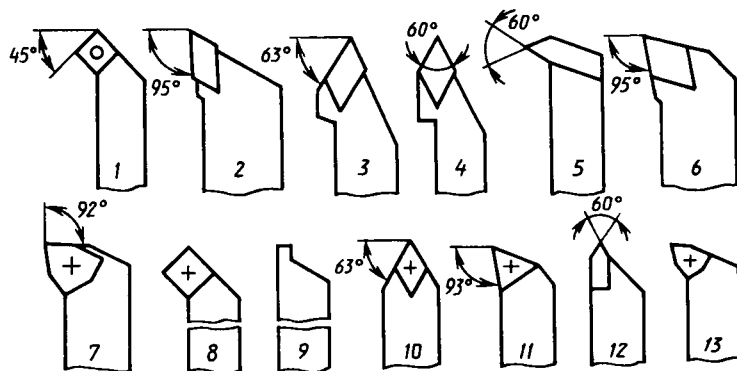


Рис. 4.12. Инструментальный блок, собранный из стандартных модулей:

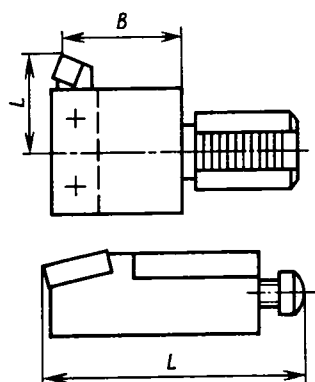
1 — державка; 2 — удлиннитель; 3 — переходник; 4 — расточная головка



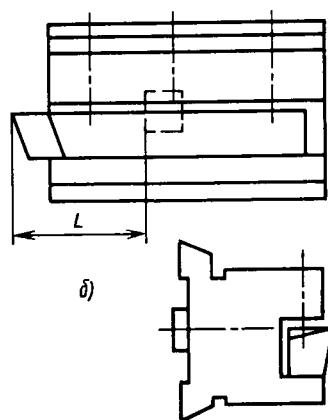
а)

Рис. 4.13. Резцы и инструментальные блоки токарных станков с ЧПУ:

а — минимально необходимая номенклатура резцов для токарных станков с ЧПУ; б, в — конструкции резцовых блоков; г — резец-вставка, настраиваемая на размер вне станка



б)



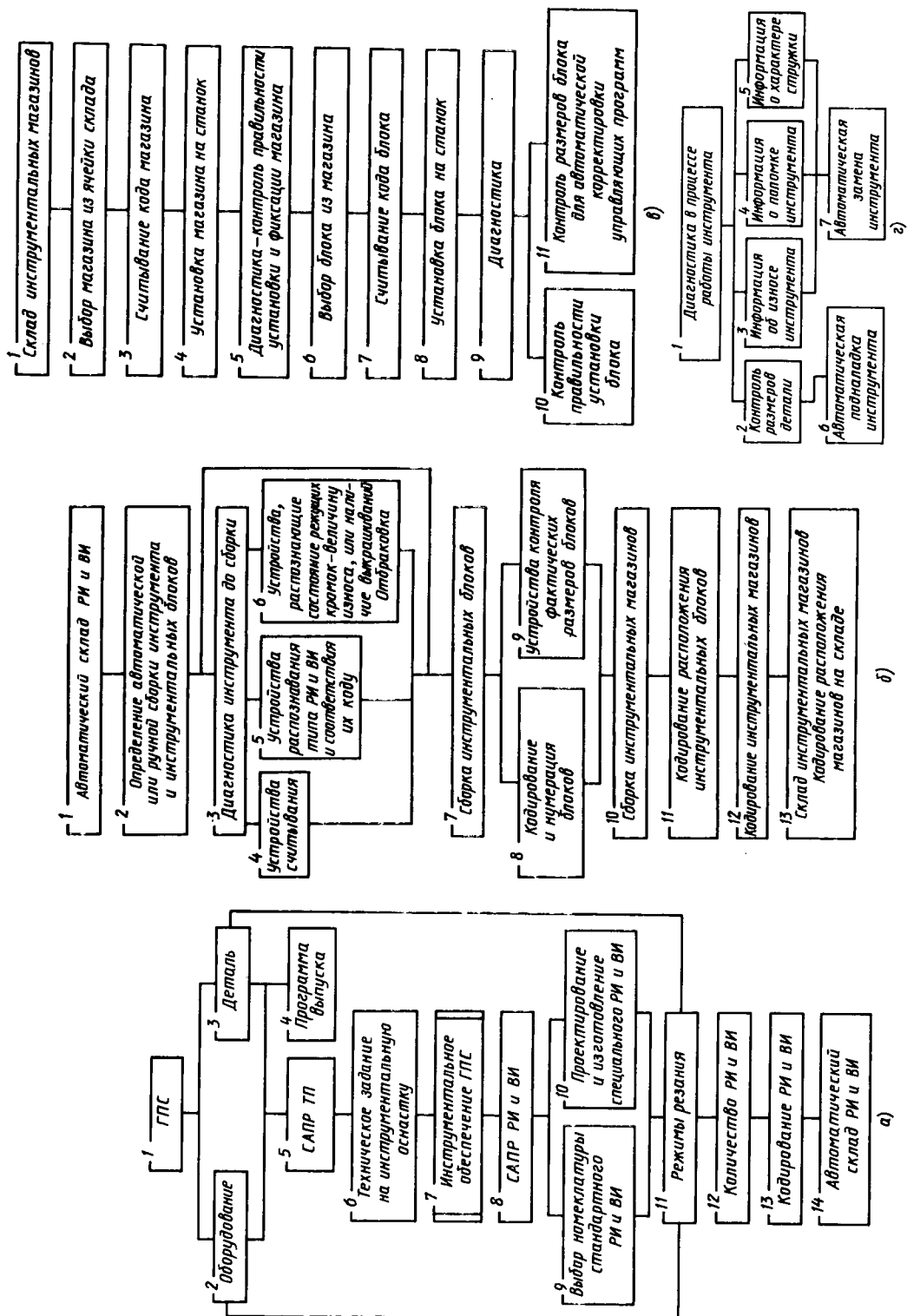
в)

вольверных головках клиновидными сухарями.

Инструментальная оснастка ГПС. Гибкие производственные системы представляют собой совокупность технологического оборудования и систем обеспечения ее работы в автоматическом режиме при изготовлении изделий произвольной номенклатуры. Развитие ГПС происходит в направлении создания безлюдной технологии, обеспечивающей работу оборудования в течение заданного времени без участия оператора. Для этого оборудование оснащается системами контроля за работой станков, состоянием инструмента, точностью деталей и т. д., что значительно увеличивает его стоимость; необходимость интенсификации режимов резания приводит к резкому сокращению стойкости инструмента и увеличения его расхода, поэтому оборудование должно

оснащаться инструментальными магазинами большой емкости. В магазине устанавливаются необходимая номенклатура инструмента и инструменты-дублиеры в количествах, обеспечивающих непрерывную работу в течение заданного времени. Для магазинов большой емкости требуется малогабаритная инструментальная оснастка.

В то же время оборудование должно оснащаться системами диагностики, гарантирующими отсутствие ошибок в применении инструмента, сигнализирующими о предельном износе и поломках инструмента, его фактических размерах с целью автоматического корректирования управляющих программ и т. д. Инструментообеспечение ГПС является сложной задачей, решение которой обеспечивает непрерывную работу оборудования.



На рис. 4.14 приведена укрупненная структура инструментаобеспечения ГПС (без связей с управляюще-вычислительным комплексом), дающая представление о ее содержании и функциях. Структура имеет пять подсистем.

Первая подсистема (рис. 4.14, а) предусматривает проведение методами САПР работ по выбору или проектированию режущего (РИ) и вспомогательного (ВИ) инструмента, его кодирование и размещение в автоматизированном складе РИ и ВИ. Конструкции инструментов для станков ГПС сверлильно-расточной и фрезерной групп аналогичны ранее рассмотренным для станков с ЧПУ, однако для расточки отверстий по 7-му качеству применяются специальные блоки с автоматическим регулированием размеров. Пример конструкции такого блока [46] фирмы «De Vlieg» (США) приведен на рис. 4.15.

Хвостовик 1 блока имеет фланец для захвата его манипулятором. При срабатывании ползуна 2 (ход ползуна 3—5 мм) фиксатором 3 через шестерню дифференциального ходового винта 5 осуществляется его поворот на некоторый угол. Незначительная разница в шагах резьбы на обеих сторонах ходового винта способствует тому, что при повороте винта гайки 4 и 7 перемещаются относительно друг друга на некоторое расстояние в осевом направлении. Гайка 4 опирается через установочный винт 8 на пластину 9 гибкого шарнира. Эта пластина и пластина 6 соединены с инструментаносителем 10 без зазора посредством рифлений. Вместе они образуют параллелограмм, который при осевом перемещении гайки 4 деформирует пластины 6 и 9 и параллельно перемещает компактные инструментальные магазины большой вместимости. Указанных

смещает инструментаноситель 10. Расточный инструмент, привинченный к фланцу инструментаносителя, перемещается параллельно оси. Каждый ход толкателя вызывает параллельное смещение оси инструментаносителя на 0,0025 мм, что соответствует изменению диаметра на 0,005 мм. Максимальное число (50) ходов вызывает общее перемещение на 0,125 мм, или на 0,25 мм по диаметру. Инструмент перемещается только в направлении увеличения диаметра. Установка в исходное положение осуществляется вручную после окончания процесса обработки. Для этой цели приподнимают фиксатор и поворачивают ходовой винт до упора.

Параллельное смещение гарантирует одинаковое перемещение режущей кромки расточной оправки любой длины, что является преимуществом по сравнению с регулирующими устройствами, у которых расточные оправки поворачиваются на некоторый угол. Ползун 2 можно приводить в действие, используя перемещение детали или с помощью стандартного упора. Команду на регулирование получают от датчика касания (см. рис. 4.8, а), который измеряет диаметр отверстия.

Подсистемы вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком и базирующей призмой (см. рис. 4.9, б, в) нельзя использовать на токарных станках ГПС из-за их громоздкости и необходимости настройки на размер с большими затратами ручного труда. Подсистемы не обеспечивают возможности созда-

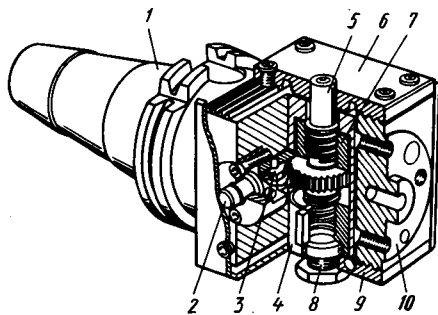


Рис. 4.15. Инструментальный расточной блок с автоматическим регулированием размеров

Рис. 4.14. Укрепленная структура инструментаобеспечения ГПС:

а — подсистема выбора проектирования и изготовления режущего и вспомогательного инструмента; б — подсистема сборки инструментальных блоков и комплектации инструментальных магазинов; в — подсистема установки магазинов и инструментальных блоков на станках; г — подсистема диагностики инструмента в процессе работы

ния компактных инструментальных магазинов большой вместимости. Указанных недостатков не имеют инструментальные системы для токарных станков, построенные по модульному принципу. В этих системах стандартная державка, в которой крепится требуемая инструментальная головка, постоянно закреплена на револьверной головке станка. При автоматической замене или установке инструментальных головок используется манипулятор. Закрепление инструментальных головок производится либо тягами, либо в цанговом зажиме.

На рис. 4.16, а приведена инструментальная система [26] фирмы «Krupp Widia» (ФРГ), отличающаяся компактностью инструментальных головок 1, которые крепятся на державках 2 с помощью тяги 3 через штифты 3. Фиксация инструментальных головок осуществляется шпонками 4. Базирование головок происходит по отверстию и торцу. Пазы под многогранные пластины выполнены с точностью до 0,01 мм. Используются пластины классов допусков А или F. Предварительная настройка на размер вне станка не требуется.

На рис. 4.16, б представлена инструментальная система фирмы «Hertel» (ФРГ). Инструментальные головки крепятся с помощью цанги, а крутящий момент воспринимается торцовыми зубьями на головке и державке.

Конструкции инструментальной системы фирмы «Sandvix Coromant» (Швеция) приведена на рис. 4.16, в.

Вторая подсистема (рис. 4.16, б) предусматривает проведение работ по автоматизированной или ручной сборке инструмента, инструментальных блоков и комплектование инструментальных магазинов. Конструкции инструментов с креплением многогранных пластин подпружиненными элементами (например, см. рис. 2.8, к) позволяют производить сборку с помощью манипуляторов. Устройства диагностики для распознавания типа, размеров инструмента и состояния режущих кромок предусматривают применение специальных датчиков касания перемещающихся по контуру или режущим кромок инструмента.

Существует много способов кодирования инструмента и устройств для их считывания.

В случае кодирования с помощью кодировочных винтов на державке режущего инструмента выполняются две плоскости, на каждой из которых имеются 9 отверстий для размещения кодировочных винтов. Так как каждая плоскость имеет $8+1$ резьбовых отверстий, то в двоично-десятичном коде (информация типа «да» или «нет») можно закодировать четыре десятичных разряда, а именно числа от 0 до 9999.

При кодировании с помощью концентрических колец порядковое число режущего инструмента определяется с помощью аксиально насаженных концентрических колец двух различных диаметров, размещенных на державке режущего инструмента. С помощью таких колец можно закодировать четыре десятичных разряда, т. е. числа от 0 до 9999.

С помощью описанных выше систем кодирования нельзя закодировать режущий инструмент числом более 10 000, так как в этом случае увеличивается площадь для расположения кодировочных элементов. Разработаны новые методы кодирования, основанные на физических законах: магнитные системы кодирования; оптические; высокочастотные электронные.

Первые две системы кодирования не нашли широкого применения из-за органических недостатков, присущих каждой системе. Так, в магнитных системах кодирования носители информации режущего инструмента расположены на конусе режущего инструмента в зоне пазов. Для считывания информации должны быть использованы так называемые генераторы Холла. Особенность генераторов Холла в том, что они могут надежно считывать информацию только в том случае, если располагаются от носителей на расстоянии не более 0,01 мм. Очевидно, что их использование практически нереализуемо по причинам, обусловленным допусками.

Оптическая система кодирования основана на использовании так называемых БАР-кодов и содержит серию параллельных темных рисок, выполненных на светлом основании. Считывание информа-

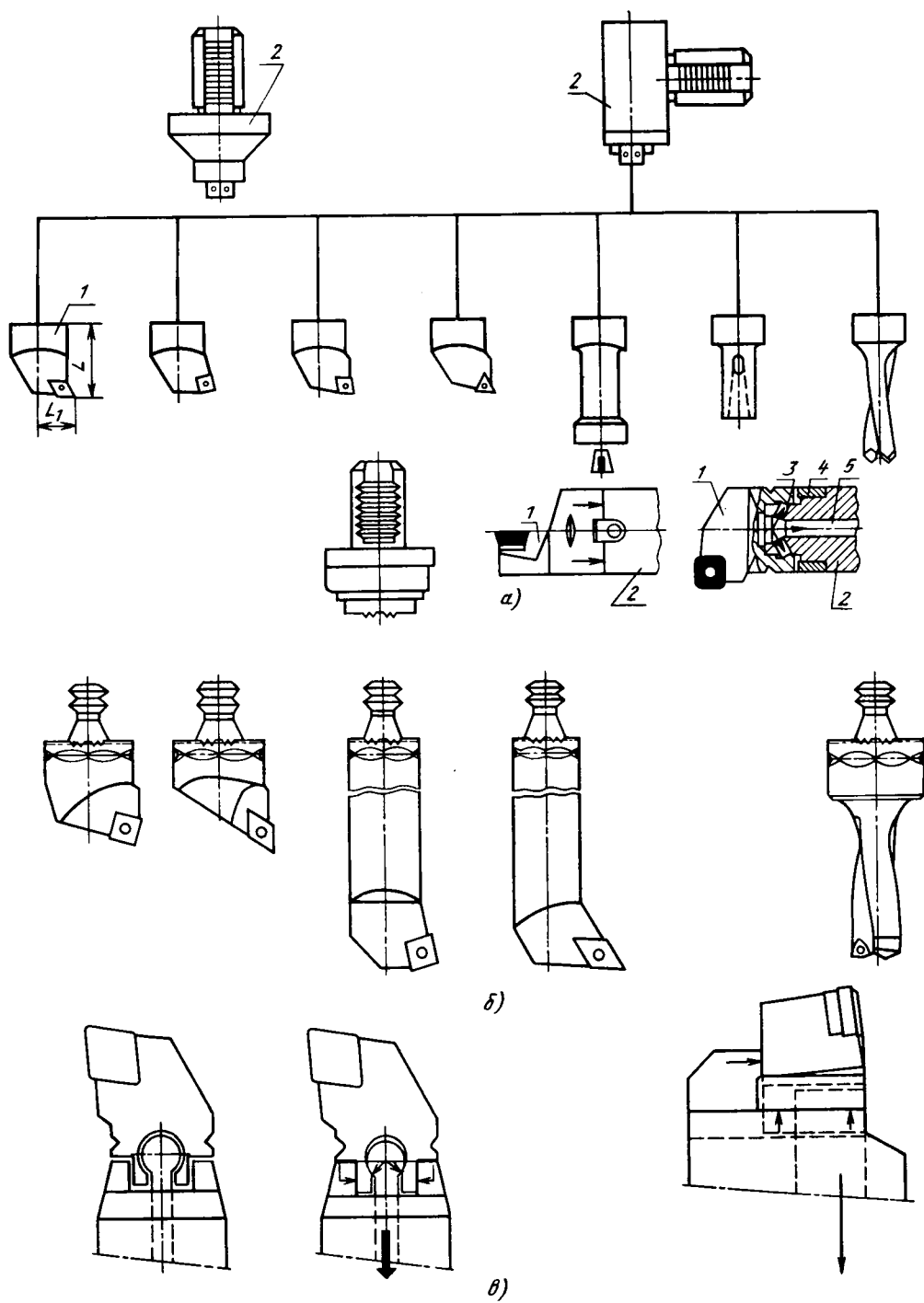


Рис. 4.16. Системы модульной инструментальной оснастки для токарных станков с ЧПУ

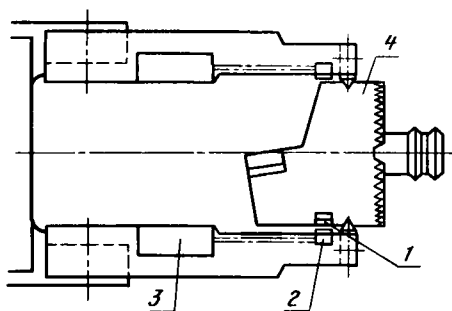


Рис. 4.17. Схема манипулятора с устройством считывания кода:

1 — считывающее устройство; 2 — индуктивный датчик; 3 — место нанесения хода; 4 — инструментальная головка

ции осуществляется лучом света по методу отражения. Однако при смачивании СОЖ или маслом светлого пространства область спектра сдвигается и система работает неуверенно.

Высокочастотная электронная система кодирования содержит две станции: передающую и приемную. Передающая стан-

ция выполнена на высокоинтегральных схемах и вмонтирована в корпус державки. Ее габариты 20×15 мм. Она не имеет своего источника питания. Если разместить такую станцию (катушку) около индукционной катушки, то в ней возникают мини-токи. Схема становится активной и посылает определенные импульсные сигналы.

Приемная станция оборудована компьютером, который воспринимает полученную информацию и может передать ее на центральный пункт переработки информации.

Кодировочная матрица имеет форму « 8×8 бит». Это соответствует объему информации, равному максимум 2^{64} .

Система работает одновременно на перенос энергии и передачу информации за счет использования разных частот: перенос информации осуществляется на частотах нескольких десятков мегагерц, а перенос энергии — на частотах нескольких сотен килогерц.

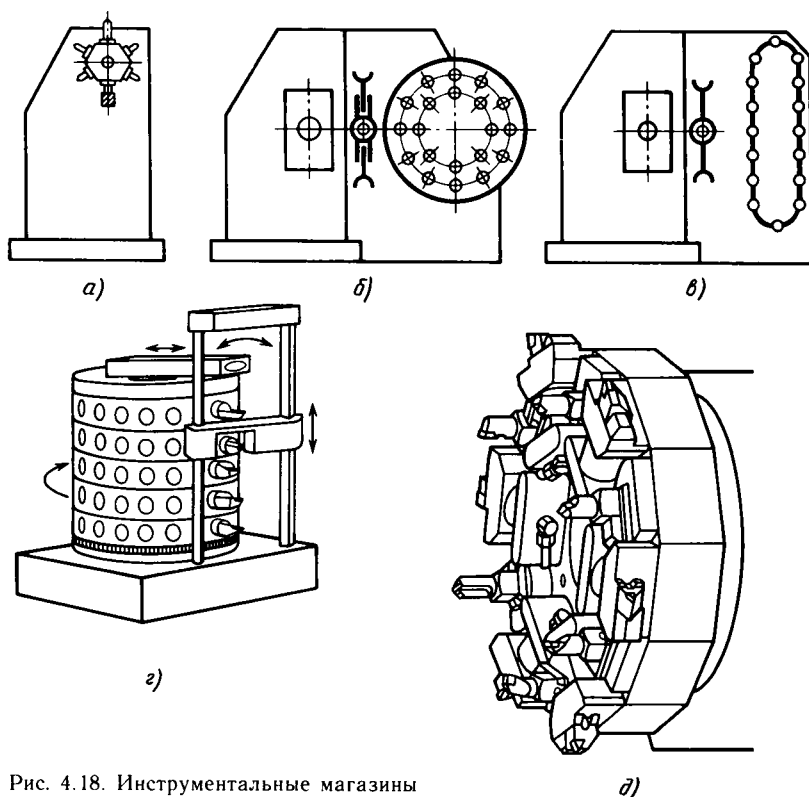


Рис. 4.18. Инструментальные магазины

С помощью такой системы возможно закодировать режущий инструмент на крупных ГПС, содержащих до 100 000 или даже до 1 000 000 режущих инструментов.

Для кодирования на нижней поверхности инструментальной головки наносится элемент магнитной памяти в виде 17 цифр. Кодируют материал режущей части, геометрические параметры режущей части, размер и геометрию инструментальной головки, ее номер. Схема считывания кода грейфером приведена на рис. 4.17.

На станках с ЧПУ применяют накопители инструментов и инструментальные магазины, представленные на рис. 4.18. Револьверные головки (рис. 4.18, а, д) применяются на токарных станках. Их недостаток — небольшая вместимость, поэтому станки снабжаются цилиндрическими магазинами большой вместимости (рис. 4.18, г), из которых инструментальная головка с помощью манипулятора может быть установлена в револьверную головку. Цилиндрические магазины могут иметь до 120 инструментов, их используют так же, как накопители инструментов, в непосредственной близости от станка.

Дисковые и цепные магазины (рис. 4.18, б, в) используют на станках сверлильно-расточной и фрезерной групп, они могут иметь 60—120 инструментов, причем отдельно стоящие дисковые магазины используют как накопители инструментов.

Инструментальный блок, который может занимать любое место в магазине, снабжен индивидуальным кодом, а специальное устройство осуществляет поиск и дает информацию о его расположении.

Третья подсистема (см. рис. 4.14, в) предусматривает перемещение магазинов типа цилиндрических из склада и установку их на станках с диагностикой работоспособности установки.

Четвертая подсистема (см. рис. 4.14, г) предусматривает диагностику инструмента

в процессе его работы. Для этого станки должны оснащаться датчиками контроля размеров детали, тензодатчиками на шпинделе станка или пьезоэлектрическими динамометрами на револьверных головках для информации о состоянии режущей кромки инструмента. Информация о характере стружки может быть получена от инфракрасных датчиков, распознающих вид стружки по рассеиванию ее теплового излучения.

Пятая подсистема представляет собой участок заточки и восстановления инструмента.

Основное направление развития системы инструментального обеспечения ГПС — максимальная автоматизация работ с целью обеспечения безлюдной технологии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите требования к инструментальной оснастке автоматизированного производства.

2. Как обеспечить быстросменность и бесподналадочную замену инструмента на станках автоматических линий?

3. Как снизить затраты на инструмент в себестоимости операции?

4. Укажите пути снижения простоев оборудования, вызванных случайным выходом из строя инструмента.

5. От каких параметров зависит экономическая стойкость инструмента?

6. Перечислите требования к подсистемам вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ и ГПС.

7. Приведите преимущества и недостатки подсистемы вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком для токарных станков с ЧПУ.

8. От каких конструктивных параметров инструментальных блоков зависит точность их позиционирования и податливость?

9. Каким требованиям должны удовлетворять инструментальные системы ГПС обработки тел вращения?

10. Укажите преимущества и недостатки модульной подсистемы вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп.

5.1. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ

Для повышения точности обработки и эффективности работы режущих инструментов необходимо обеспечить правильные условия их эксплуатации.

Все работы, связанные с эксплуатацией режущего инструмента и наблюдением за его работой, проводят специальные инструментальные службы, отделы технического надзора за эксплуатацией режущего инструмента или цеховые технологи*. Отдел технического надзора подчинен главному инженеру. На некоторых заводах имеются службы главного инструментальщика.

Специальные инструментальные службы завода должны осуществлять централизованное руководство и управление всеми подразделениями инструментального хозяйства по определению потребности в режущем инструменте, планированию потребления и определению источников обеспечения, организацию производства и приобретения, учета и хранения техоснастки и средств контроля (ГОСТ 14.105—74, ГОСТ 14031—73, ГОСТ 3.1109—73 и др.).

Основные задачи инструментальных служб: бесперебойное снабжение инструментом производства; организация надзора за эксплуатацией инструмента и обеспечение оптимальных условий его работы, в том числе наблюдение за установленными режимами резания и соответствием их обрабатываемому материалу и условиям

обработки, установление допустимого износа, организация системы наблюдений за работоспособностью инструмента, системы сигнализации внезапного или постепенного отказа инструмента: кроме этого наблюдение за восстановлением инструмента в процессе эксплуатации; обеспечение качества изготовления, заточки, надлежащего хранения и транспортирования инструмента.

В процесс эксплуатации инструмента в производстве различаются следующие этапы:

- подготовка инструмента к работе;
- наладочные работы, в том числе установление режимов резания;
- непосредственная работа инструмента, снятие стружки — резание и получение деталей требуемого качества;
- контроль работоспособности инструмента во время и по окончании работы;
- восстановление работоспособности — режущих свойств и размеров;
- консервация и складирование инструмента.

При использовании инструмента в автоматизированных системах производства появляются добавочные этапы — автоматизация поиска необходимого инструмента на складе, подача его на рабочее место в инструментальный магазин, на станок, снятие со станка и передача в инструментальный магазин, транспортирование в наладочное отделение.

Выбор и назначение инструмента производится по данным технологической карты. Для облегчения поиска инструментам присваиваются определенные номера-индексы, шифры, которые указывают в технологической карте. Обозначения (классы, группы и др.) приведены в Общесоюз-

* Используются инструктивно методические материалы Оргприминструмента Минстанкопрома.

ном классификаторе продукции (ОКП) [44] и в ГОСТах по видам инструментов. В технологической карте должны быть указаны назначение инструмента по виду обработки, размер, точность, материал режущей части, присоединительные размеры для крепления на станке, в приспособлении или специальной инструментальной оснастке.

Приемочный контроль инструмента и подготовка его к работе. Инструмент может быть покупной и собственного изготовления. Для инструмента собственного изготовления этот контроль может быть совмещен с контролем при изготовлении инструмента. При приемочном контроле необходимо проверить соответствие действительных размеров инструмента установленным чертежом, соответствие точности существующим нормативным документам, твердости рабочих элементов инструмента. При этом, а также и при последующем контроле необходимо соблюдение единства баз контроля, заточки и эксплуатации. При нарушении условия единства баз необходимы особые контрольные проверки и расчеты обеспечения точности положения режущих элементов инструмента относительно баз его крепления при эксплуатации, дополнительный контроль базовых поверхностей крепления инструментов при эксплуатации (установке на станке) и определение расчетным путем правильности расположения относительно них рабочих элементов инструмента, определяющих его рабочие исполнительные размеры и, следовательно, размеры обработанных поверхностей. Нарушение единства баз при контроле и эксплуатации наблюдается, например, у концевых фрез, заточка и контроль которых производится от центров, а установка на станок при помощи конического хвостовика.

Полученный со склада инструмент должен быть подготовлен к работе; у сборного регулируемого инструмента должны быть проверены исполнительные рабочие размеры и при необходимости произведены его регулировка и настройка; у инструментов для ГПС — проверена правильность сборки инструментальных блоков, установки в инструментальную оснастку, осуществлены регулировка и настройка

размеров, установка в инструментальные магазины в соответствии с маршрутной картой.

Наблюдение за работой инструмента ведут технолог цеха, мастер, наладчик, а на некоторых предприятиях специальный инженер, куратор-инструментальщик. Перед началом работы следует проверить правильность установки и надежность крепления инструмента, отсутствие люфтов, биения рабочих режущих кромок у вращающихся инструментов, правильность установленных режимов обработки и соответствие их материалу режущей части инструмента. Необходимо наблюдать за процессом резания при пробных рабочих проходах.

Следует помнить, что даже незначительное превышение скорости резания ведет к значительному снижению стойкости инструмента. Следует обратить внимание на правильность подачи СОЖ в зону резания, на формирование и отвод стружки. Это особенно важно при обработке отверстий — при глубоком сверлении, растачивании, резьбонарезании.

Во время работы инструмента необходимо периодически убеждаться в работоспособности инструмента визуально или с помощью специальных приборов. О состоянии инструментов можно судить по виду сходящей стружки, качеству обработанной поверхности, точности размеров обработанных поверхностей деталей (при приближении размеров получаемых поверхностей к границам поля их допуска следует провести регулировку инструмента), по мощности, потребляемой станком, появлению вибрации, а также с помощью других способов диагностики работоспособного состояния режущего инструмента (лезвия).

Должно быть обращено внимание на хорошее формирование и отвод стружки из зоны резания; затруднение в отводе стружки, заполнение стружечной канавки может явиться причиной поломки зубьев, например, у метчиков, протяжек, дисковых шеверов и других инструментов.

В процессе работы инструмента должны быть проверены выбранные ранее или установленные при наладке критерии затупления (износа) инструмента, гаран-

тированное время его работы, стойкости и периодичности снятия инструмента для переточки. Нельзя доводить инструмент до катастрофического износа — точка *B* (рис. 5.1), так как восстановить его работоспособность после этого весьма трудно и часто бывает даже невозможно.

Инструмент, бывший в эксплуатации и снятый со станка, подвергают осмотру для определения степени его износа и способа восстановления режущих свойств. При нормальном износе инструмент затачивают или перенастраивают с заменой изношенных режущих элементов (частей). При чрезмерном износе, выкрашивании режущих кромок устанавливают возможные и способствующие этому причины, способы их устранения и пути восстановления инструмента.

Снятие инструмента со станка для восстановления его режущих свойств должно быть принудительным, после определенного регламентированного времени его работы. Восстановление режущих свойств, переточку или переналадку инструмента с заменой изношенных элементов производят централизованно в специальных заточных восстановительных отделениях.

Организация централизованной заточки является одним из основных условий рациональной эксплуатации режущих инструментов. Создание специализированных участков централизованной заточки режущих инструментов, оснащенных специальными станками и приспособлениями, средствами контроля позволяет повысить качество режущего инструмента, увеличить его ресурс и сократить расход.

Заточка осуществляется путем снятия изношенных слоев материала режущего

элемента инструмента и должна производиться преимущественно с поверхности наибольшего износа. Заточка осуществляется на специальных заточных станках абразивными, алмазными или эльборовыми кругами. При заточке должны быть обеспечены требуемые геометрические параметры инструмента и качество рабочих поверхностей лезвий. Для повышения качества рабочих поверхностей применяют доводку. Технология восстановления режущих свойств инструмента, порядок и методы контроля качества приведены в работе [35].

Сборные инструменты, исполнительные размеры которых в результате износа или заточки не соответствуют требуемым, для дальнейшего использования подвергают регулировке. Инструменты цельной нерегулируемой конструкции направляются на перделку в те же виды инструментов, но других размеров, или на перделку на другие виды инструментов.

Для повышения работоспособности и стойкости инструментов применяют специальные износостойкие покрытия, термохимическую обработку [5].

Транспортирование инструмента во избежание порчи его режущих кромок должно производиться в специальной таре.

При хранении на складе должны быть приняты меры для предохранения инструмента от порчи — забоин и выкрашиваний режущих кромок. Инструмент должен храниться между рядами картонных или фанерных разделителей. Мелкие осевые инструменты диаметров до 10 мм (сверла, развертки, метчики и др.) укладывают в специальные коробки, пеналы; инструменты больших размеров хранят в деревянной таре или в специальных чехлах, червячные фрезы, долбяки, шеверы — на специальных поддонах. При хранении режущий инструмент должен быть смазан тонким слоем вазелина.

Для длительного хранения инструмент должен быть подвергнут специальным методам консервации — химико-технологической обработке и упаковке. Необходимо предохранить инструмент, в особенности его рабочие элементы и базовые (крепежные) поверхности, от коррозии, случай-

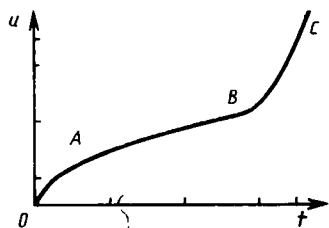


Рис. 5.1. Изнашивание режущего инструмента

ных ударов, деформаций, выбоин режущих кромок. Для этой цели целесообразно покрывать инструмент легко снимаемыми пленочными покрытиями ВАП-2 или составом ЛСП. Способы консервации установлены ГОСТ 9.014—78, ОСТ 8930—79.

§ 5.2. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

С развитием интенсификации и автоматизации процессов обработки, переходом к ГПС, ГПК, ГПМ возрастает значение режущих инструментов, обеспечивающих при гибком производстве изготовление деталей машин высокой точности с наибольшей экономической эффективностью. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» предусматривается увеличение выпуска продукции машиностроения и металлообработки на 40—45 %, намечено широкое внедрение гибких переналаживаемых производств, автоматических линий и др. Для решения этих задач и обеспечения все возрастающих требований к качеству и точности деталей машин предусматривается развитие специализированного производства прогрессивного режущего инструмента, инструмента с неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава и керамики и инструментов с многослойными покрытиями.

Эти направления и текущие потребности машиностроения определяют дальнейшие пути развития науки о режущем инструменте. Основные направления, выявляющиеся уже сейчас, следующие.

1. Дальнейшая разработка теории режущих инструментов и создание новых конструкций инструментов, в том числе для новых методов обработки, значительное повышение надежности инструментов, точности. Разработки научно-обоснованных методов проектирования режущих инструментов с учетом не только образования требуемых поверхностей деталей, но и условий резания, работы лезвий. Дальнейшее развитие автоматизированного проектирования — САПР режущего инструмента и др.

2. Режущие инструменты подвергаются при работе большим силовым нагрузкам

как общего, так и местного (локального) характера, поэтому требуется развитие основ теории прочности и жесткости режущих инструментов и их конструктивных элементов как цельных, так составных и сборных инструментов.

3. При интенсификации процессов обработки, при повышении режимов резания, а также при обработке новых материалов увеличивается влияние тепловых явлений на условия работы инструментов на их стойкость, прочность, точность получаемых поверхностей. Поэтому необходимо дальнейшее изучение этих процессов и создание способов резания, исключающих или уменьшающих вредное влияние нагрева, и эффективных методов отвода теплоты от лезвий инструментов.

4. Точность режущих инструментов, точность и надежность их установки и базирования при эксплуатации в значительной степени определяют точность получаемых поверхностей. Поэтому необходимо создание теории точности режущих инструментов с учетом условий их базирования, кинематики процесса резания, тепловых и силовых влияний, обрабатываемого материала и других технологических факторов. Разработка баланса точности процесса обработки позволит подойти к научнообоснованным назначениям допусков на режущие инструменты и выявить возможные пути совершенствования конструкций инструментов и процесса резания.

5. Необходимы дальнейшая разработка основных положений проектирования инструментов для ГПС, обеспечивающих повышение надежности инструментов, стойкости при повышенных режимах и изменяющихся условиях обработки, а также изучение и совершенствование образования стружки и отвода ее; разработка вопросов автоматизации, замены, установки и регулирования инструментов при их эксплуатации. Для повышения эффективности инструментов следует при их проектировании учитывать конкретные условия обработки, т. е. должно развиваться так называемое «адресное» проектирование.

6. Следует предусмотреть возможность автоматизации поиска необходимого ин-

струмента на складе, разработать совершенную систему кодирования, методы распознавания и способы контроля соответствия установленного на оборудовании инструмента условиям обработки.

7. Для повышения надежности и стойкости инструментов необходимо создание и применение новых инструментальных материалов для режущей части, более совершенных твердых сплавов, керамики и СТМ (композитов), алмазов и абразивных материалов, износостойких покрытий и др., позволяющих обрабатывать на повышенных режимах заготовки высокой твердости и применять производительные и эффективные технологические процессы обработки заготовок.

При автоматизированном процессе обработки необходимо знание ресурса (стойкости) инструмента, его режущих свойств в процессе обработки. Для этого разрабатываются теоретические основы и методы диагностики состояния инструмента, создаются специальные устройства, входящие в его конструкцию или в инструментальную оснастку.

8. Новое направление — применение адаптивных и гибких конструкций инструментов, инструментов с самоподналадкой в процессе работы, с регулируемыми исполнительными размерами, с регулируемыми геометрическими параметрами режущих лезвий в зависимости от условий обработки и обрабатываемого материала. Гибкость конструкции и адаптация могут осуществляться автоматически (в том числе по специальным командам микропроцессорной техники). Эти принципы пока находят ограниченное применение. Они могут значительно увеличить возможности и ресурсы инструментов и обеспечить возможность регулирования размеров инструментов для повышения точности получаемых поверхностей.

9. Разработка теоретических основ повышения виброустойчивости инструментов, в особенности при прерывистой обработке. Демпфирующие устройства применяют в некоторых конструкциях инструментов и инструментальной оснастке для точения, а также для и зубонарезания.

10. Дальнейшее развитие САПР режущих инструментов, направленной не только на ускорение проектных расчетов, но и на получение оптимальной конструкции, в том числе инструментов для новых способов обработки; создание программ расчетов с выводом на машинное построение конструкций на графопостроителе, а в дальнейшем на автоматизированную разработку технологических процессов изготовления инструментов со всеми технологическими расчетами и рекомендациями по изготовлению и применению инструментов.

11. Необходима разработка теории оптимизации конструктивных решений как инструментов в целом, так и отдельных их конструктивных элементов, с учетом всех условий и параметров процесса обработки.

12. Для возможности использования имеющегося опыта проектирования, а также получения сведений о наличии инструмента на предприятии необходимо создание банка данных.

13. Предстоят разработка и создание инструментов для обработки заготовок по новым технологическим процессам обработки — с подогревом заготовок, совместном использовании плазмы и резания, для обработки заготовок повышенной твердости из труднообрабатываемых и других материалов, а также инструментов ротационного типа с вращающимся элементом режущей части, с непрерывным обновлением работающих участков режущих кромок.

14. Развитие и расширение стандартизации инструментов. Особую важность приобретает проблема стандартизации режущих инструментов не только общесоюзная, но и международная.

§ 5.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Совершенствование конструкций инструментов проводится и будет происходить по многим направлениям, основными из которых являются следующие:

Применение инструментов сборных конструкций, в том числе инструментов, соз-

данных с использованием модульного принципа. Наиболее распространенными примерами модулей являются многогранные твердосплавные и керамические пластины и пластины, оснащенные СТМ, резцовые вставки расточных инструментов, микроборы и др. Модули могут изготавливаться централизованно с обеспечением высокой точности и качества. Использование готовых нормализованных модулей упростит создание сложных и точных инструментов, обеспечит экономию материалов, упростит регулирование их исполнительных размеров и др.

Совершенствование конструкции инструментов с многогранными пластинами. Разработка конструкций, предусматривающих замену пластин на станке, расширение применения многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) для новых видов инструментов. При использовании твердосплавных пластин не требуется заточка затупленных лезвий, сокращается время на смену затупившегося элемента. Отслужившие свой срок пластины восстанавливают, благодаря чему экономятся дефицитные материалы; степень использования МНП характеризует технический уровень механической обработки [44].

В составных конструкциях инструментов кроме традиционного крепления режущего элемента с помощью пайки и сварки получают распространение клееные соединения.

Происходит пересмотр конструкций составных, сборных инструментов. Вместо расположения пластин по передней поверхности лезвия, появились конструкции, в которых пластины расположены по задней поверхности лезвия. Это изменяет характер нагрузок и напряжений как в самой пластине, так и в узле крепления, упрощаются и улучшаются условия крепления пластин, но у многолезвийных инструментов уменьшается число зубьев. Такое положение пластин начали применять у концевых, фасонных и червячных фрез, у некоторых типов резцов и других инструментов.

Изменение формы передних и задних поверхностей инструментов производят для улучшения условий стружкообразования, стружколомания, стружкоотвода,

уменьшения трения. Изменяя только форму передней поверхности при неизменной форме задних поверхностей инструментов, можно изменить форму режущих кромок и, как следствие, форму обработанной поверхности детали. Этот простой технологический прием позволяет в некоторых пределах осуществить «гибкость» конструкции инструмента и может быть использован для небольших изменений формы режущих кромок фасонных инструментов с затылованными задними поверхностями.

С целью более рационального распределения нагрузки на режущие кромки (лезвия), повышения производительности обработки и стойкости инструмента, повышения качества получаемых поверхностей расширяют применение новых схем резания. Новые схемы резания начали применять в резьбообразующих инструментах, торцовых, фасонных и червячных фрезах, расточных блоках и др. Например, использование генераторной схемы при ступенчатом расположении режущих кромок позволяет снимать большие припуски при малых глубинах резания, приходящихся на отдельные зубья, которые оснащают СТМ.

Все большее распространение получают переходные режущие кромки (фаски, закругления) в месте перехода главных режущих кромок во вспомогательные — в месте наибольших напряжений и износа. Переходные кромки обеспечивают повышение стойкости инструмента, улучшение качества обработанной поверхности; их ранее применяли у сверл, начинают применять у зуборезных инструментов.

В корпусах инструментов желательны специальные каналы для подвода СОЖ непосредственно в зону резания. Это будет способствовать большему эффекту действия СОЖ, лучшему охлаждению лезвия и отводу стружки. Такие каналы делают у сверл, но их следует предусматривать и у других видов инструментов.

Расширяется создание конструкций комбинированных инструментов как однотипных, так и разнотипных, обеспечивающих повышение точности взаимного расположения обработанных поверхностей, совмещение операций и переходов, сокра-

щение времени обработки (основного и вспомогательного), уменьшение количества необходимых позиций для установки инструментов на автоматизированном оборудовании. Комбинированные инструменты применяют для расточки фасонных, ступенчатых отверстий, наборы фрез — для обработки сложных поверхностей.

Расширяется применение инструментов для совместной обработки резанием и деформированием — инструментов с режущими и деформирующими зубьями или участками. Деформирующие участки применяют для повышения качества и точности обработанной поверхности, например выглаживающие зубья протяжек. Чередование режущих и выглаживающих зубьев повышает обрабатываемость материала заготовки, применяют, например, у протяжек, разверток.

Инструменты для вибрационной обработки резанием позволяют улучшить стружкообразование, облегчить процесс резания труднообрабатываемых материалов и др. При их проектировании необходимо учитывать быстрое изменение в процессе обработки положения плоскости резания и связанное с этим изменение значений кинематических геометрических параметров, влияние вибраций на прочность режущих кромок и т. д.

Специальные протяжные и обкатные инструменты начинают использовать для обработки поверхностей, для которых эти инструменты ранее не применялись или имели ограниченное применение. Так, протяжки начинают применять для обработки поверхностей заготовок типа тел вращения, зубчатых колес и др.; обкатные инструменты, спроектированные с использованием новых принципов их работы, могут быть с успехом применены для обработки сложных поверхностей, зубчатого и незубчатого типа (например, поверхности двоякой кривизны, изменяющейся как в продольном, так и в поперечном направлениях) и др.

Обработка резанием с подогревом требует создания новых конструкций режущих инструментов.

Разрабатываются конструкции инструментов и режущих элементов для изготовления их методами порошковой металлургии, при их применении повышается стойкость лезвий. Эти методы дают возможность получать заготовки инструмента сложной формы с минимальной последующей обработкой, они особенно применимы для изготовления модулей режущих элементов.

Получают распространение монокристаллические твердосплавные инструменты.

Для автоматизированных производств необходимо обеспечить возможность автоматической замены инструмента или его режущего элемента, режущих кромок и точность и надежность базирования и крепления.

При разработке конструкций инструментов необходимо учитывать возможность их изготовления на ГПМ. При проектировании инструментов с использованием ЭВМ в выходных данных следует предусмотреть исходные данные для автоматизированного их изготовления.

Приведенными направлениями не исчерпываются пути возможного развития теории режущих инструментов, развития и совершенствования их конструкций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое значение имеет единство баз инструмента при его изготовлении, контроле, эксплуатации, переточках?
2. Какие методы применяют для восстановления работоспособности инструмента при его эксплуатации?
3. Укажите основные этапы подготовки инструмента к работе, их значение.
4. Какие условия требуется соблюдать для обеспечения правильной работы инструмента?
5. Какие основные направления дальнейшего развития теории режущих инструментов.
6. Приведите возможные пути повышения качества и работоспособности режущих инструментов.
7. Какое значение имеет развитие модульного принципа в конструировании инструментов.

1. Автоматизированное проектирование металлорежущего инструмента/В. А. Гречишников, Г. Н. Кирсанов, А. В. Катаев и др. М.: Мосстанкин, 1984. 107 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник/А. Н. Резников, Е. И. Алексанцев, Я. К. Барау и др. М.: Машиностроение, 1977. 391 с.
3. Бакуль В. Н. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. М.: Машиностроение, 1975. 295 с.
4. Бобров В. Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом. М.: Машиностроение, 1982. 104 с.
5. Верещака А. С., Третьяков И. П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 190 с.
6. Горанский Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 456 с.
7. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1986. 304 с.
8. Грачев Л. Н., Гиндин Д. Е. Автоматизированные участки для точной размерной обработки деталей. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
9. Гречишников В. А. Системы автоматизированного проектирования режущих инструментов. М.: ВНИИТЭМР. Сер. 9. 1987, Вып. 2. 52 с.
10. Гречишников В. А., Орлов В. Ф., Щербakov В. Н. Основные положения и рекомендации по проектированию и изготовлению металлорежущего инструмента в условиях единичного, мелкосерийного производства. М.: НИАТ. 1984. 43 с.
11. Гурин М. Ф., Гурин В. Ф. Перспективные инструментальные материалы. М.: Машиностроение, 1984. 62 с.
12. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Расчет допусков размеров. М.: Машиностроение. 1980. 208 с.
13. Иноземцев Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. 270 с.
14. Калашников С. Н., Калашников А. С. зубчатые колеса и их изготовление. М.: Машиностроение, 1983. 264 с.
15. Кирсанов Г. Н. Развитие некоторых вопросов теории инструментов//Вестник машиностроения. 1978. № 9. С. 53—58.
16. Ковальчук Ю. М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. М.: Машиностроение, 1984. 285 с.
17. Коганов И. А., Федоров Ю. Н., Валиков Е. Н. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1981. 136 с.
18. Краткий справочник металлста/Под общ. ред. П. Н. Орлова и С. И. Скороходова. М.: Машиностроение, 1986. 960 с.
19. Кудевицкий Я. В. Фасонные фрезы. Л.: Машиностроение, 1978. 171 с.
20. Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 359 с.
21. Лашнев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. 391 с.
22. Лейн А. М. Обработка фасонных тел вращения методом протягивания//Станки и инструмент. 1975. № 2. С. 16—17.
23. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 318 с.
24. Лурье Г. Б. Наладка и подналадка режущего инструмента на размер. М.: Высшая школа, 1981. 80 с.
25. Люкшин В. С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1968. 368 с.
26. Маслов А. Р. Современные тенденции в конструировании специального режущего и вспомогательного инструмента для автоматизированных производств. М.: ВНИИТЭМР, 1985. 48 с.
27. Медведицков С. И. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 104 с.
28. Мойсенко О. И., Чкалов О. И., Стоялов В. М. Червячные фрезы, оснащенные сверхтвердыми материалами//Алмазы и сверхтвердые материалы. 1976. № 15. С. 7—9.
29. Мойсенко О. И., Павлов Л. Е., Диденко С. И. Твердосплавные зуборезные инструменты. М.: Машиностроение, 1977. 188 с.

30. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ/П. И. Ящерицын, Б. И. Синецын, Н. И. Жигалко и др. Минск: Высшая школа, 1979. 304 с.
31. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 59 с.
32. Протяжки для обработки отверстий/Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. И. Ашихмин и др. М.: Машиностроение, 1986. 230 с.
33. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1977. 390 с.
34. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справочник/В. П. Жедь, Г. В. Боровский, Я. А. Музыкант и др. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.
35. Режущий инструмент: Лабораторный практикум/Н. Н. Щегольков, Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов и др.: Под ред. Н. Н. Щеголькова; М.: Машиностроение, 1985. 164 с.
36. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты: Киев: Вища школа, 1979. 431 с.
37. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов/Г. Н. Кирсанов, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др.; Под общ. ред. Г. Н. Кирсанова. М.: Машиностроение, 1986. 285 с.
38. Романов В. Ф., Авакян В. В. Технология алмазной правки шлифовальных кругов. М.: Машиностроение, 1980. 118 с.
39. Рывкин Г. М. Инструментальная оснастка для автоматизированного производства. М.: Машиностроение, 1972. 137 с.
40. Сахаров Г. Н. Обкаточные инструменты. М.: Машиностроение, 1983. 230 с.
41. Седов Б. Е. Повышение эффективности зуборезных долбяков//Перспективы развития режущего инструмента и повышение эффективности его применения в машиностроении. М.: НИИМАШ, 1978. С. 187—195.
42. Семенченко И. И., Матюшин В. М., Сахаров Г. Н. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1963. 952 с.
43. Сидоренко А. К. Червячные фрезы. М.: Машиностроение, 1980. 81 с.
44. Справочник инструментальщика/И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др., Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.
45. Справочник металлста. М.: Машиностроение, 1977. Т. 3. 748 с. Т. 4. 707 с.
46. Справочник технолога-машиностроителя 4-е изд./Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мецеракова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 656 с.
47. Справочник технолога по автоматическим линиям/А. Г. Косилова, А. Г. Лыков, О. М. Дивов и др. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
48. Филиппов Г. В. Режущий инструмент. Л.: Машиностроение, 1981. 173 с.
49. Фрумин Ю. Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент. М.: Машиностроение, 1977. 183 с.
50. Фрумин Ю. Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки. М.: Машиностроение, 1987. 343 с.
51. Хае Г. Л. Прочность режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1975. 166 с.
52. Харалампиев И. С. Обкатывающее протягивание зубьев зубчатых колес: Пер. с болгарского. М.: Машиностроение, 1981. 210 с.
53. Хонингование: Справочное пособие/Под ред. С. И. Куликова, В. А. Романчука, Ф. Ф. Ризанова, Ю. М. Евсеева. М.: Машиностроение, 1973. 167 с.
54. Цвис Ю. В. Профилирование режущего обкатного инструмента. М.: Машгиз, 1961. 154 с.
55. Цепков А. В. Профилирование затылованных инструментов. М.: Машиностроение, 1979. 150 с.
56. Эльбор в машиностроении/В. С. Лысанов, В. А. Букин, Б. А. Глаковский и др. Л.: Машиностроение, 1978. 279 с.
57. Юликов М. И., Горбунов Б. И., Колесов Н. В. Проектирование и производство режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1987. 296 с.

Предисловие	3
Введение (Г. Н. Сахаров)	4
Глава 1. Общие вопросы проектирования режущих инструментов	9
§ 1.1. Основные принципы работы и конструктивные элементы режущих инструментов (Г. Н. Сахаров)	9
§ 1.2. Инструментальные материалы (А. С. Киселев)	26
§ 1.3. Основные понятия и определения систем автоматизированного проектирования режущего инструмента (В. А. Гречишников)	36
Контрольные вопросы	42
Глава 2. Инструменты общего назначения	43
§ 2.1. Резцы (Ю. Л. Боровой)	43
§ 2.2. Протяжки (Г. Н. Сахаров)	60
§ 2.3. Фрезы (Ю. Л. Боровой)	80
§ 2.4. Инструменты для обработки отверстий (О. Б. Арбузов)	101
§ 2.5. Абразивные инструменты (О. Б. Арбузов)	135
Контрольные вопросы	163
Глава 3. Инструменты для образования сложных поверхностей	164
§ 3.1. Инструменты для образования резьбы (В. А. Гречишников)	164
§ 3.2. Инструменты для обработки зубьев цилиндрических колес (Г. Н. Сахаров)	188
§ 3.3. Инструменты для образования зубьев конических колес (Г. Н. Сахаров)	245
§ 3.4. Обкатные инструменты для получения неэвольвентных профилей деталей (Г. Н. Сахаров)	254
§ 3.5. Дисковые инструменты для изготовления деталей с винтовой поверхностью (В. А. Гречишников)	274
Контрольные вопросы	285
Глава 4. Инструментальная оснастка автоматических линий, станков с ЧПУ и ГПС (Ю. Л. Боровой)	287
Контрольные вопросы	317
Глава 5. Условия рациональной эксплуатации и направления развития металлорежущих инструментов (Г. Н. Сахаров)	318
§ 5.1. Условия эксплуатации инструментов	318
§ 5.2. Направления развития теории режущих инструментов	321
§ 5.3. Основные направления совершенствования конструкций режущих инструментов	322
Контрольные вопросы	324
Список литературы	325

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*Сахаров Георгий Николаевич, Арбузов Олег Борисович,
Боровой Юрий Леонидович, Гречишников Владимир Андреевич,
Киселев Александр Семенович*

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Редакторы *Н. П. Гурвич, Н. А. Лебедева*
Художественный редактор *В. В. Лебедев*
Технический редактор *Н. М. Харитонова*
Корректор *А. П. Озерова*

ИБ № 4563

Сдано в набор 13.01.89. Подписано в печать 23.08.89. Т-04936. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,65. Усл. кр.-отт. 26,65. Уч.-изд. л. 29,68. Тираж 63 500 экз. Заказ 1836. Цена 1 р. 30 к.

Издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 129041, Москва. Б. Переяславская, 46.