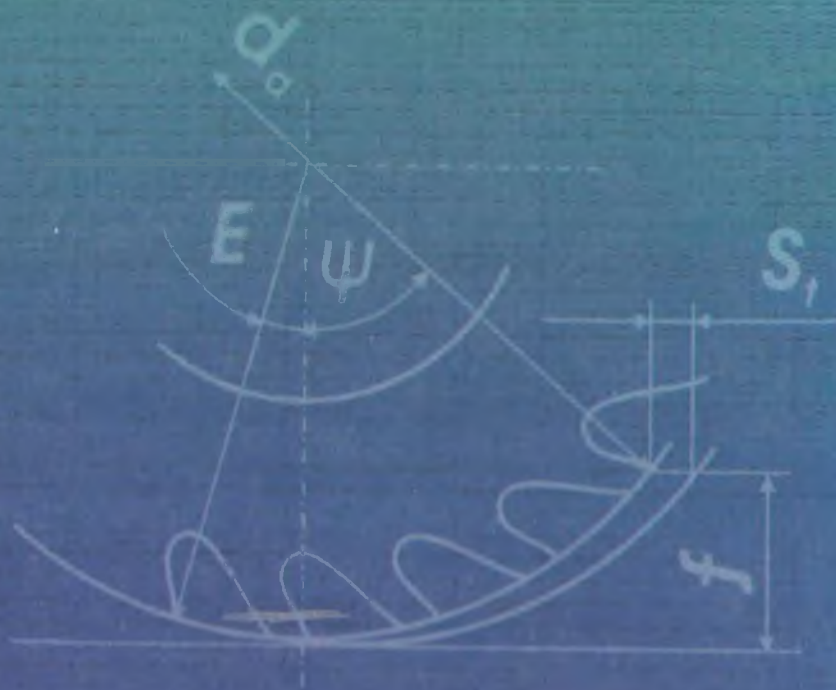




К.Б.УСМАНОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ





521.9
У-74

Министерство Высшего и среднего
специального образования Республики Узбекистан

К.Б.Усманов

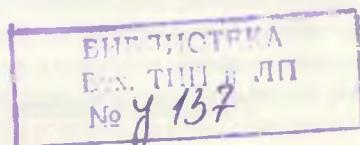
Проектирование режущих инструментов

Рекомендован министерством Высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан в качестве учебника по направлениям образования «Авиационное и ракетно-космическая техника» шифр 5520800, «Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» шифр 5520600 для студентов высших технических учебных заведений.



AKADEMIYA

Ташкент 2005



К.Б.Усманов. Проектирование режущих инструментов.
Ташкент, Akademiya, 2005 г.

В книге описаны методы расчета и конструирования металлорежущих инструментов, показаны пути развития теории и практики их проектирования, освещены вопросы применения системы автоматического проектирования, даны сведения по инструментам для станков с числовым программным управлением.

Учебник предназначен для студентов следующих направлений образования: «Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Авиастроение и ракетно-космическая техника».

Введение

Обработка резанием является основным технологическим приемом изготовления точных деталей машин и механизмов.

Режущий инструмент является важнейшим элементом обработки металлов резанием в различных отраслях машиностроения. На протяжении всей истории обработки металлов резанием, режущий инструмент, как необходимый придаток к станку, оказывал большое влияние на усовершенствование конструкций металлорежущих станков.

Скорость резания инструментов из углеродистых сталей колебалась около 10 м/мин. Инструменты из быстрорежущей стали позволили повысить скорость резания до 30-40 м/мин. Это отразилось на конструкции металлорежущих станков и на их технических характеристиках.

Применение твердых сплавов в качестве материала режущих инструментов позволило увеличить скорость резания в 3-4 раза по сравнению со скоростью быстрорежущих инструментов.

Применение инструментов, оснащенных режущими элементами из искусственных алмазов, керамики и сверхтвердых материалов, потребовало создания новых металлорежущих станков с увеличенными числами оборотов, более мощными и жесткими. Резко увеличилось применение станков с ЧПУ, многооперационных станков.

Усложнение конструкций машин, повышение их точности и качества приводит к тому, что несмотря на развитие других методов обработки металлов, доля обработки резанием в машиностроении существенно не изменяется, и объем ее значительно возрастает. В ближайшем будущем резание останется наиболее распространенным видом обработки, в решающей степени определяющим экономические показатели машиностроения, трудоемкость изготовления и качество машин.

Наша Республика обладает развитым машиностроением. В таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, сельхозмашиностроение, химическое машиностроение, для дальнейшего прогресса требуются специалисты высокой квалификации по металлообработке.

Эти специалисты должны уметь грамотно проектировать различные конструкции режущих инструментов для современных металлообрабатывающих систем, эффективно используя вычислительную технику (ЭВМ) и достижения в области инструментального производства.

Проектирование металлорежущего инструмента необходимо вести с учетом геометрических параметров обрабатываемой поверхности и требований, предъявляемых к ним. Связь между параметрами режущего инструмента и обрабатываемой поверхностью может быть установлена на основе классификации поверхностей и их математического описания. При этом, важно учитывать изменения, вносимые инструментом в качественные параметры обработки в связи с его износом.

Качество обработки деталей на металлорежущих станках находится в прямой зависимости от качества изготовления инструмента и физико-механических характеристик применяемого инструментального материала. При производстве современного режущего инструмента широко применяют упрочняющие технологии, новые инструментальные материалы (сверхтвердые синтетические материалы, керамика, твердые сплавы и др.) Инструменты, изготовленные из этих материалов, особенно эффективны в автоматизированном производстве.

Металлорежущие системы оснащены большим набором разнообразных по назначению и конструкции инструментов. Правильный выбор конструкции инструментов с учетом перспектив их развития позволяет повысить универсальность, технологичность изготовления и стойкость инструментов.

Последовательность проектирования и методы расчета режущего инструмента основаны как на общих закономерностях процесса проектирования, так и на специфических особенностях, характерных для режущего инструмента.

Каждый вид инструмента имеет конструктивные особенности, которые необходимо учитывать при проектировании.

Для металлорежущих систем, работающих по автоматическому циклу, большую роль играет контроль состояния режущего инструмента. Разработка критериев оценки состояния режущего инструмента, применение современных контрольно-измерительных устройств и совмещение функций контроля с функциями управления технологическим процессом позволяют значительно сократить простои оборудования, вспомогательное время и повысить качество обработки.

Для сокращения сроков и повышения эффективности проектирования режущего инструмента используются автоматизированные расчеты на ЭВМ, основой которых является программно-математическое обеспечение. Создание пакетов прикладных программ для расчета геометрических параметров сложного режущего инструмента на ЭВМ позволяет резко сократить затраты конструкторского труда и повысить качество проектирования режущего инструмента.

Все вышеизложенное отражено в десяти главах данной книги и базируется на знании студентами материаловедения, сопромата, деталей машин, теории резания, металлорежущих станков, основ САПР и технологии машиностроения и ставит следующую задачу – ознакомить студентов с общими принципами проектирования и расчета металлорежущего инструмента.

Данный учебник предназначен для студентов, обучающихся по специальностям: «Технология машиностроения, оборудования и автоматизация машиностроительных производств», «Авиастроение и ракетно-космическая техника», «Технологические машины и оборудование», «Материаловедение и технология новых материалов» и др.

Глава 1.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Изготовив резец, в общем понятии орудие труда, человек затем создает станок. Историческое развитие показывает, что совершенствование одного из них способствует совершенствованию другого. Создание новых инструментальных материалов дает толчок для создания мощных, более высокопроизводительных металлообрабатывающих станков.

Инструментальные материалы играют решающую роль в повышении режущих свойств инструмента и производительности труда, в формировании точностных параметров и качественных характеристик обрабатываемых деталей.

Надежная работа режущего инструмента зависит от определенных требований, которые предъявляются к инструментальным материалам.

Основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам:

1. Высокая твердость и прочность.

Для того, чтобы режущее лезвие инструмента, не деформируясь, могло срезать слой обрабатываемого материала и превратить его в стружку, твердость инструментального материала должна значительно превосходить твердость обрабатываемого материала.

Срезаемый слой через стружку давит на переднюю поверхность инструмента с силой, достигающей больших значений. Вследствие этого на контактных поверхностях режущего клина возникают большие напряжения. Чтобы эти напряжения не приводили к разрушению рабочей части, инструментальные материалы должны быть достаточно прочными. Кроме того, режущим инструментом часто приходится работать в условиях прерывистого резания или с переменным значением сил резания из-за неравномерного припуска на обработку, или различной твердости по длине и глубине обрабатываемого материала. Поэтому желательно, чтобы инструментальный материал сочетал высокую твердость с хорошей сопротивляемостью на сжатие и изгиб и обладал высоким пределом выносливости и ударной вязкостью.

2. Высокая теплостойкость.

В процессе резания вследствие превращения механической энергии в

тепловую на инструмент действует мощный тепловой поток. Из-за интенсивного разогревания контактные поверхности инструмента теряют свою исходную твердость, размягчаются и быстро изнашиваются. На рис. 1.1., где показано уменьшение твердости различных инструментальных материалов при нагревании, видно, что при температурах более 300°С углеродистая сталь У10 резко снижает свою твердость, а минералокерамика ЦМ-332 еще сохраняет свою твердость [1].

Под теплостойкостью инструментального материала понимают способность материала сохранять при нагреве твердость, достаточную для осуществления процесса резания. Теплостойкость инструментального материала при резании характеризуют так называемой критической температурой. При нагреве выше критической температуры в инструментальном материале происходят структурные изменения и связанное с этим снижение стойкости. Иногда критическая температура называется температурой красностойкости, температуростойкости. Режущий инструмент может работать в условиях прерывистого резания, при котором его режущее лезвие периодически нагревается во время рабочего хода инструмента и остывает во время холостого хода. Циклическое изменение тепловой нагрузки вызывает термомеханическую усталость инструментального материала и способствует образованию усталостных трещин. Поэтому наряду с высокой теплостойкостью инструментальный материал должен быть малочувствительным к циклическим температурным изменениям.

3. Высокая износостойкость.

В процессе резания, в результате перемещения стружки по передней

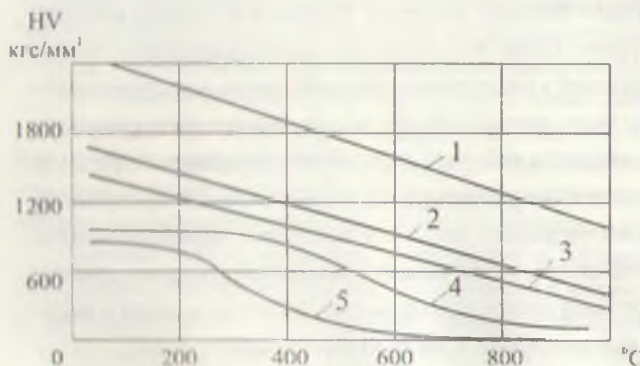


Рис. 1.1. Влияние температуры на твердость (по Виккерсу) инструментальных материалов:

1. Минералокерамика ЦМ-332;
2. Твердый сплав Т15К6;
3. Твердый сплав ВК8;
4. Быстрорежущая сталь Р18;
5. Углеродистая сталь У10.

поверхности и поверхности резания по задней поверхности режущего лезвия с большой скоростью, при высоких контактных напряжениях и температурах, рабочие поверхности инструмента изнашиваются. Под износостойкостью понимают способность инструментального материала сопротивляться при резании и удалению его частиц с контактных поверхностей инструмента. Изнашивание контактных поверхностей происходит на протяжении всего периода их подвижного соприкосновения с обрабатываемым материалом. В результате этого процесса лезвия теряют некоторую часть своей массы и на них отчетливо видны следы износа в виде нарушений формы рабочих поверхностей. Износостойкость материала зависит от его твердости, прочности и теплоустойчивости, возрастая при их увеличении.

4. Высокая теплопроводность.

Большое значение для улучшения качества инструментального материала имеет повышение его теплопроводности. Особенно это важно при обработке жаропрочных материалов. Чем выше теплопроводность материала, тем меньше опасность возникновения шлифовочных прижогов и трещин на лезвиях инструмента при заточке. Кроме того, при возрастании теплопроводности улучшаются условия отвода тепла из зоны резания, что снижает температуру резания и повышает износостойкость инструмента. Высокая теплопроводность является важным показателем инструментального материала, повышающим надежность и работоспособность режущего инструмента.

5. Высокая экономичность.

В настоящее время в машиностроительной промышленности работает большое количество металлорежущих станков, многие из которых оснащены несколькими инструментами. Обрабатывающие центры, которые быстро внедряются в парк металлорежущих станков, оснащены магазинами инструментов со многими десятками и даже сотнями режущих инструментов. Большое количество инструментов, эксплуатируемых в промышленности, требует соответствующего расхода инструментального материала. Поэтому инструментальный материал должен быть по возможности дешевым и не содержать дефицитных элементов.

Кроме перечисленных выше требований инструментальные материалы должны иметь возможность обрабатываться в холодном и нагретом состоянии, обладать определенными свойствами при термообработке, сварке, напайке, заточке и т.п.

В той или иной степени отвечают названным требованиям следующие группы инструментальных материалов, разработанных к настоящему времени:

1) углеродистые инструментальные стали; 2) легированные инструментальные стали; 3) быстрорежущие стали; 4) твердые сплавы; 5) минералокерамика; 6) природные и синтетические алмазы; 7) сверхтвердые материалы; 8) абразивные материалы.

1.2. Углеродистые инструментальные стали

Используя следующие марки углеродистых инструментальных сталей: У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А и У13А. Входящая в маркировку этих сталей буква А указывает на высшее качество выплавки. Для получения высокой твердости углеродистые стали подвергают закалке с последующим отпуском для снятия остаточных напряжений и повышения прочности и вязкости. В зависимости от содержания в стали углерода и размеров инструмента температура закалики колеблется в пределах 760-820°C.

Таблица 1.1.

Содержание легирующих элементов (в %) и физико-механические свойства углеродистых инструментальных сталей

Марка стали	Углерод С	Марганец Мп	Кремний Si	Предел прочности на растяжку σ_B , ГПа	Предел прочности на изгиб σ_u , ГПа	Твердость, HRC	Теплостойкость, °C	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, ГПа
У10А	0,95-1,04	0,15-0,30	0,15-0,30	1,8	2,8	61-	220	3,5
У12А	1,15-1,24	0,15-0,30	0,15-0,30					

В результате термической обработки углеродистые стали приобретают твердость HRC 61-63, что дает возможность обрабатывать ими все основные конструкционные стали и чугуны в отожженном и нормализованном состояниях. Структура углеродистой стали после закалики и отпуска состоит из скрытокристаллического мартенсита и карбидов (цементита) с некоторым количеством остаточного аустенита. Углеродистые стали обладают достаточно высокой механической прочностью (табл. 1.1) и обеспечивают хорошую формоустойчивость лезвий инструмента.

Вследствие отсутствия в стали легирующих химических элементов углеродистые стали хорошо шлифуются и являются дешевым инструментальным материалом.

К недостаткам углеродистых сталей следует отнести низкую закаливаемость, требующую закалики с охлаждением в воде, что увеличивает напряжения и деформации в закаленном инструменте и способствует образованию трещин. Но главным недостатком углеродистых сталей является их низкая теплостойкость (критическая температура $\theta_c = 200-250^\circ\text{C}$).

При более высоких температурах нагрева в процессе резания в результате структурных превращений твердость углеродистых сталей резко снижается

и лезвия инструментов, быстро изнашиваясь, не в состоянии резать обрабатываемый материал. Низкая теплостойкость ограничивает область применения углеродистых инструментальных сталей при изготовлении высокопроизводительных инструментов. Из углеродистых сталей изготавливают ручные (слесарные) инструменты и машинные инструменты, работающие с низкими скоростями резания (10-15 м/мин). Например, из стали У12А изготавливают ручные развертки, метчики и плашки, из стали У9А - зубила. Машинные инструменты (метчики, плашки, развертки, сверла, зенкеры и концевые фрезы) изготавливают из стали У12А.

1.3. Легированные инструментальные стали

Износостойкость углеродистых инструментальных сталей, особенно при невысоких скоростях резания, может быть значительно повышена при добавлении в них в небольших количествах хрома, марганца, вольфрама, кремния. Такие инструментальные стали получили название легированных.

Наибольшее распространение получили стали марок ХВ5, ХВГ, 9ХС.

Таблица 1.2.

Химический состав (в %) и твердость легированных инструментальных сталей

Мар- ка стали	С	Мп	Si	Cr	V	Mo	W	Твер- дость HRC не ниже
ХВ5	1,25-1,5	< 0,3	< 0,3	0,4- 0,7	0,15- 0,3	-	4,5-5,5	65
ХВГ	0,9-1,05	0,8 - 1,1	0,15-0,35	0,9-1,2	-	-	1,2 -1,6	62
9ХС	0,85-0,95	0,3-0,6	1,2- 1,6	0,95-1,25	-	-	-	62

Сталь ХВ5 закаливается в воде при температуре нагрева 820-840° С и подвергается отпуску при температуре 150-180° С. Присутствие в стали большого числа сложных карбидов при высокой концентрации углерода в мартенсите позволяет получить весьма высокую твердость (HRC 65-67). Сталь ХВ5 плохо прокаливается и по прочности не уступает стали У12А, но вследствие большой твердости обладает высоким сопротивлением малым пластическим деформациям и изготовленные из нее инструменты имеют высокую форму-стойчивость лезвий. Эта сталь применяется для изготовления разверток и фасонных резцов, работающих при невысоких скоростях резания.

Сталь ХВГ закаливается в масле при температуре нагрева 830-850°C и подвергается отпуску при температуре 150-180°C. После закалки и отпуска получают твердость HRC 63-65 и достаточно высокую вязкость. Сталь хорошо прокаливается и вследствие содержания в ней марганца, увеличивающего количество остаточного аустенита, имеет малые объемные изменения при закалке. Поэтому инструмент, изготовленный из этой стали, мало деформируется и хорошо поддается правке. К недостаткам стали ХВГ следует отнести пониженное сопротивление малым пластическим деформациям из-за излишнего остаточного аустенита, большую карбидную неоднородность и склонность к шлифовочным трещинам. Сталь ХВГ применяется в основном для изготовления протяжек крупных размеров.

Сталь 9ХС закаливается в масле при температуре нагрева 865-875° С и отпускается при температуре 150-180° С, приобретая твердость HRC 63-64. Сталь обладает хорошей прокаливаемостью и закаливаемостью. Благодаря закалке в масле деформация инструмента, изготовленного из стали 9ХС, уменьшается. Содержание в стали кремния уменьшает чувствительность к перегреву, способствует сохранению мелкого зерна и обеспечивает равномерное распределение карбидов по сечению инструмента. К недостаткам стали 9ХС следует отнести склонность к обезуглероживанию и плохую обрабатываемость резанием по шероховатости обработанной поверхности. Высокая карбидная однородность стали 9ХС делает ее особо пригодной для изготовления инструментов с тонкими режущими элементами (малого диаметра сверл, разверток, метчиков, плашек и концевых фрез).

Все рассмотренные легированные стали имеют теплостойкость, мало отличающуюся от теплостойкости углеродистой стали У12А ($\theta_{0.2} \gg 250^\circ \text{C}$), а поэтому инструменты, изготовленные из указанных сталей, могут работать при низких скоростях резания (20-25 м/мин).

1.4. Быстрорежущие инструментальные стали

Быстрорежущие инструментальные стали отличаются от легированных присутствием в них значительно большего количества карбидообразующих элементов (вольфрам, ванадий, молибден и хром), существенно повышающих теплостойкость стали.

Потеря твердости углеродистой инструментальной стали при нагреве выше 200-250°C объясняется интенсивной коагуляцией карбида железа, выделяющегося из мартенсита. Введение в сталь вольфрама, ванадия, молибдена и хрома в определенных количествах и сочетаниях приводит к образованию сложных карбидов, связывающих почти весь углерод, в результате чего процесс коагуляции карбидов начинает происходить при значительно более высоких температурах и теплостойкость стали возрастает. Главную роль в этом

плении играют вольфрам, ванадий и молибден. Высокая теплоустойчивость быстрорежущих сталей обеспечивается нагревом под закалку до максимальных высоких температур (1300° С), охлаждением в масле и последующим трехкратным отпуском при температурах 550-580° С. Высокие закалочные температуры способствуют растворению достаточного количества сложных карбидов и предельному насыщению аустенита углеродом и легирующими элементами. После закалки структура быстрорежущей стали состоит из высоколегированного мартенсита, карбидов и аустенита. При отпуске происходит частичный распад твердого раствора, превращение остаточного аустенита в мартенсит и выделение дисперсных частиц карбидов, приводящие к повышению твердости.

Таблица 1.3.

Химический состав быстрорежущих инструментальных сталей

М а р к а	Х и м и ч е с к и й с о с т а в (в %)					
	W	М о	V	С о	С	С r
P9	8,5-10,0	1,0	2,0-2,5	-	0,85-0,95	3,8-4,4
P18	17,0-18,5	1,0	1,0-1,4	-	0,70-0,80	3,8-4,4
P9Ф 5	9,0-10,5	1,0	4,3-5,1	-	1,4-1,5	3,8-4,4
P6М 5	5,5-6,5	5,0-5,5	1,0-2,1	-	0,8-0,88	3,8-4,4
P6К 5	5,5-6,5	1,0	2,0-2,6	5,0-6,0	0,9-1,0	3,8-4,4
P10К 10	9,0-10,5	1,0	2,0-2,6	9,0-10,5	0,9-1,0	3,8-4,4

По сравнению с углеродистыми и легированными инструментальными сталями быстрорежущие стали имеют более высокую твердость, прочность, теплоустойчивость и износостойкость, сопротивление малым пластическим деформациям и обладают хорошей прокаливаемостью. Высокая теплоустойчивость быстрорежущих сталей позволяет изготовленным из них инструментам работать со скоростями резания в 2,5-3,0 раза более высокими, чем те, которые при равной стойкости допускают углеродистые инструменты.

Хорошие режущие и технологические свойства быстрорежущей стали являются причиной широкого применения ее при изготовлении самых разнообразных инструментов. Из быстрорежущих сталей изготавливают инструменты в тех случаях, когда изготовление инструментов из твердых сплавов связано со значительными технологическими трудностями и обходится слишком дорого (например, фасонные инструменты и инструменты со сложными конструктивными формами). Кроме того, механическая прочность инструмен-

Таблица 1.4.

Физико-механические свойства быстрорежущих инструментальных сталей

М арка стали	Предел прочности на растяже- нии, бв, Г П А	Предел прочности на изгиб, би, Г П А	Предел прочности на сжатие, бсж , Г П А	Твердость, HRC	Теплостой- кость, °С
P9	2,5	3,35	4,0	62-63	620
P18	2,5	2,9-3,1	4,0	62-63	620
P6M 5	2,5	3,3-3,4	4,0	63-64	620
P9Ф 5	2,5	2,6-2,9	4,0	64-65	620
P6K 5	2,5	2,5	4,0	63-64	640
P9K 10	2,5	2,05-2,1	4,0	63-64	640

тов, изготовленных из твердых сплавов, при резании бывает недостаточной, и это может привести к аварии инструмента, особенно при безлюдной технологии (например, при резании высокопрочных материалов с большими сечениями срезаемого слоя, прерывистое резание с тяжелым динамическим режимом, резание при малой жесткости технологической системы СПИД).

Таблица 1.5.

Физико-механические свойства быстрорежущих инструментальных сталей

М арка	Химический состав (в%)				Плотность г/см ³	Предел прочности		Твер- дость HRA	Тепло- стой- кость Qкp,с
	WC	TiC	TaC	Co		при изгибе, би, Г П А	при сжатии, бсж , Г П А		
BK3	97	-	-	3	14,8-15,3	1,0	5	9	800-850
BK6	94	-	-	6	14,5-15,0	1,2	5	88	
BK8	92	-	-	8	14,4-14,8	1,3	5	87,5	
T30K4	66	30	-	4	9,5-9,8	0,9	4	91	850-900
T15K6	79	15	-	6	11,0-11,7	1,1	4	90	
T5K10	85	6	-	9	12,2-13,2	1,15	4	88,5	
TT7K12	81	4	3	12	13,0-13,3	1,65	-	-	750

Из быстрорежущих сталей изготавливают фасонные резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, винторезные головки, цилиндрические, осевые и концевые фрезы, фасонные и резьбовые фрезы, червячно-модульные и червячно-шлицевые фрезы, зуборезные долбяки, шеверы, протяжки.

1.5. Твердые сплавы

Внедрение твердых сплавов в начале 30-х годов XX века вызвало резкое повышение производительности труда в металлообрабатывающей промышленности. Износостойкость инструмента и скорости резания увеличились в десятки раз, улучшилось качество обработанной поверхности, повысилась

Таблица 1.6.

Соответствие марок твердых сплавов международной классификации

Наименование изменений свойств		Марка твердого сплава	Группа применения		Материал заготовки	
			основная	подгруппа		
Увеличение износостойкости 	Повышение прочности на изгиб 	T30K 4 T15K 6 T14K 8 TT20K 9 T6K 10 TT10K-Б T5K 12 TT7K 12	Р	P01 P10 P20 P25 P30 P40	сталь, ковкий чугун со сливной стружкой	
		BK 6-ОМ, BK 6-М TT8K 6 TT10K 8-Б BK 10-ОМ, BK 10-М BK 8, TT7K 12		М	M 05 M 10 M 20 M 30 M 40	сталь, марганцовистая сталь, легированный чугун, аустенитная сталь, ковкий чугун, автоматная сталь
		BK 3, BK 3-М BK 6-ОМ BK 6-М, TT8K 6 BK 6, BK 4 BK 8, BK 4			К	K 01 K 05 K 10 K 20 K 30

Твердые сплавы делятся на три группы: 1) вольфрамовые (однокарбидные) сплавы, состоящие из карбидов вольфрама и кобальта. Сплавы этой группы обозначаются буквами ВК. После буквы К прибавляют цифру, показывающую процентное содержание кобальта. Например, обозначение ВК6 характеризует сплав с 6% Со и 94% WC. Крупнозернистые сплавы этой группы дополнительно обозначают буквой В (например, ВК8В), мелкозернистые сплавы - буквой М (например, ВК6М); 2) титано-вольфрамовые (двухкарбидные), состоящие из карбида вольфрама, карбида титана и кобальта. Сплавы этой группы обозначаются буквами ТК. Цифры, следующие за буквами Т и К, означают примерное содержание в процентах карбида титана и кобальта в сплаве; 3) титанотантало-вольфрамовые (трехкарбидные), состоящие из карбида вольфрама, карбида титана, карбида тантала и кобальта. Сплавы этой группы аналогично титановольфрамовым сплавам обозначают теми же буквами, но прибавляют еще одну букву Т (например, ТТ7К12). Буквы ТТ и цифра, следующая за ними, означают примерное процентное содержание карбидов титана и тантала в сумме. Цифра, следующая за буквой К, означает процент содержания кобальта в сплаве.

Твердость и теплостойкость титановольфрамовых сплавов выше, чем вольфрамовых. Увеличение твердости и теплостойкости титановольфрамовых сплавов сопровождается снижением их прочности на изгиб и ударной вязкости. Предел прочности на изгиб сплавов уменьшается по мере увеличения в сплавах карбидов вольфрама и титана и уменьшения кобальта. Теплопроводность титановольфрамовых сплавов значительно ниже, чем вольфрамовых, и приближается к теплопроводности быстрорежущей стали. Прочность твердых сплавов определяется не только их составом, но и размером зерен карбида вольфрама. Сплавы с большим размером зерна имеют большую прочность, что связано с относительным увеличением толщины прослойки цементирующей фазы. Уменьшение размеров зерен карбидов вольфрама, наоборот, несколько снижает прочность, но повышает твердость и износостойкость сплава.

Повышенную хрупкость вольфрамовых и особенно титановольфрамовых сплавов необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации инструментов. Твердые сплавы, значительно уступая быстрорежущей стали по прочности на изгиб, равны ей или даже превосходят сталь по прочности на сжатие. Очевидно, режущий клин твердосплавного инструмента должен быть таким, чтобы действующие на инструмент нагрузки создавали в клине преобладающее напряжение не изгиба, а сжатия, которые твердый сплав, как всякий хрупкий материал, воспринимает несравненно лучше.

Трехкарбидные титанотантало-вольфрамовые сплавы по своим свойствам занимают промежуточное положение между сплавами высокой теплостойкости и титановольфрамовыми твердыми сплавами. Уступая спла-

ним ТК по теплостойкости, они превосходят их по прочности. Скорость резания, допускаемая сплавом ТТ7К12 при малых сечениях срезаемого слоя, в 2-3 раза превышает скорость резания, допускаемую сталью Р18, и в 1,5 раза ниже скорости резания для сплава Т5К10.

Выбор группы твердого сплава при конструировании инструментов определяется родом и механическими свойствами материала обрабатываемой заготовки и условиями работы. Обработка хрупких материалов по сравнению с обработкой пластичных материалов характерна меньшими температурами резания. Поэтому при обработке чугуна используют менее теплостойкие, но более дешевые сплавы группы ВК. Применение вольфрамовых сплавов в этом случае целесообразно и вследствие их повышенной прочности, так как ширина площадки контакта при обработке чугуна мала и нагрузка на передней поверхности концентрируется в непосредственной близости от лезвия. Сплавы группы ВК применяют также при резании мягких цветных металлов, обработка которых сопровождается малой интенсивностью тепловыделения.

При резании конструкционных углеродистых и легированных сталей и сплавов, когда температура резания высока, применение вольфрамовых сплавов не обеспечивает высокой производительности обработки, и целесообразно использовать более теплостойкие и износостойкие сплавы группы ТК. Однако в некоторых случаях, когда при обработке указанных материалов прочность титановольфрамовых сплавов оказывается недостаточной, используют менее теплостойкие, но более прочные сплавы группы ВК. К таким случаям можно отнести обработку некоторых сталей и сплавов, обладающих высокой твердостью и вязкостью, титановых сплавов повышенной прочности, закаленных углеродистых и легированных сталей, обработку с большими сечениями срезаемого слоя при прерывистом резании.

Сплавы группы ТТК по использованию являются универсальными и их можно применять при обработке как сталей, так и чугунов. Основная область применения трехкарбидных сплавов - это резание с очень большими сечениями срезаемого слоя, обработка с тяжелыми ударами. В этих случаях повышенная прочность титановольфрамовых сплавов компенсирует их пониженную теплостойкость.

При выборе марки твердого сплава в пределах каждой группы необходимо учитывать следующее: чем тяжелее условия работы инструмента в силовом отношении, тем больше кобальта должен содержать сплав, и чем легче силовой режим, тем больше в сплаве должно содержаться карбидов титана и вольфрама.

Из твердого сплава изготавливают самый разнообразный режущий инструмент. По мере совершенствования технологии инструментального производства границы изменения твердосплавного инструмента непрерывно расширяются.

1.6. Минералокерамика

Минералокерамика так же, как и металлокерамика, получается спеканием оксидной минеральной керамики, являющейся кристаллической окисью алюминия Al_2O_3 . Наибольшее распространение получила минеральная керамика марки ЦМ-332.

Исходным материалом для изготовления минералокерамики является тонкоизмельченный порошок корунда - искусственной окиси алюминия, полученной прокаливанием при температуре 1500-1700°C технического глинозема. Для предотвращения роста кристаллов корунда при спекании в керамику добавляют 0,5-1% окиси магния, которая, вступая в реакцию с окисью алюминия, образует достаточно прочное цементирующее вещество. При прессовании керамических пластинок в исходную шихту добавляют пластификатор: 5%-ный раствор каучука в бензине. Спекание пластинок производят в два приема. Первое спекание в течение 2 часов при температуре 1100°C и второе спекание в течение 10-15 мин при температуре 1720-1760°C.

В результате спекания минералокерамика представляет собой поликристаллическое тело, состоящее из мельчайших кристаллов корунда и межкристаллической прослойки в виде аморфной стекловидной массы. Минералокерамика поставляется в виде пластинок тех же форм и размеров, что и пластинки твердых сплавов. Пластинки минералокерамики прикрепляют к корпусу инструментов припаиванием, приклеиванием и механическим путем. Минералокерамика является наиболее дешевым и доступным инструментальным материалом, так как не содержит в своем составе дефицитных и дорогих химических элементов. Минералокерамика обладает большой твердостью (HRA 91-93), исключительно высокой теплостойкостью: ее критическая температура $\theta_{кр} = 1200^\circ C$. По теплостойкости минералокерамика превосходит все распространенные инструментальные материалы, включая алмазы, что позволяет минералокерамическому инструменту работать со скоростями резания (300-600 м/мин), значительно превышающими скорость резания твердосплавных инструментов. Это является основным достоинством минералокерамики. По сравнению с другими инструментальными материалами минералокерамика наименее склонна к слипанию с обрабатываемым материалом.

Серьезным недостатком минералокерамики, ограничивающим ее применение, является низкая прочность на изгиб и низкая ударная вязкость. Для пластинок марки ЦМ-332, например, предел прочности на изгиб $\sigma_g = 0,37 ГПа$, что значительно меньше, чем у наименее прочных титановольфрамовых твердых сплавов. Не менее существенным недостатком минералокерамики является исключительно низкая сопротивляемость циклическому изменению тепловой нагрузки, в результате чего при прерывистом резании на контактных

поверхностях инструмента возникают температурные усталостные трещины, являющиеся причиной преждевременного выхода инструмента из строя. Из-за низкой прочности на изгиб и высокой хрупкости минералокерамику целесообразно использовать при обработке мягких цветных металлов. При обработке стали и чугуна применение минералокерамики ограничивается чистотным непрерывным точением с малыми сечениями срезаемого слоя при отсутствии толчков и ударов.

С целью повышения прочности минералокерамики в ее состав стали вводить такие добавки, как вольфрам, титан, молибден или сложные карбиды

Таблица 1.7.

Основные марки и физико-механические свойства пластин из керамики

Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластин	Твердость	Плотность, г/см ²	б _н	б _{ок}	Размер зерна, мкм
				МПа		
1. Оксидная керамика						
ЦМ-332, холодное прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 99% MgO ≤ 1% белый	HRA 91	3,85–3,90	300–350	–	4
ВО-13, холодное прессование	Al ₂ O ₃ < 99% белый	HRA 92	3,92–3,95	450–500	2700–3000	3 - 4
ВШ-75, горячее прессование	Al ₂ O ₃ Черно - серый	HRA 91-92	3,98	500	2500-3000	3
2. Оксидно-карбидная керамика						
ВСК К60, горячее прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 60% TiC < 40% и др., черный	HRA 94	4,2	600	-	2-3
В-3, горячее прессование		HRA 93	4,3	550-650	-	2-3
ВСК К63, горячее прессование		HRA 94	4,20-4,30	650-700	-	2-3
ОНТ-20 (континит), горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiN темнокоричневый	HRA 92-94	4,39	640		
3. Керамика на основе нитрида кремния						
Силанит-Р, горячее прессование	На основе Si ₃ N ₄ , коричневый	HRA 92-94	3,2-3,4	500-700	2500	

этих металлов. Образовавшиеся составы из кристаллов корунда и карбидов тугоплавких металлов получили название керметы.

Керметы имеют предел прочности на изгиб $\sigma_{\text{из}} = 0,6-0,7$ ГПа, что почти в два раза выше, чем у пластинок марки ЦМ - 332. Однако добавки тугоплавких металлов и сложных карбидов снизили теплостойкость и износостойкость.

Пластинки керметов изготавливаются в виде многогранников и круглых пластинок. Они имеют марки ВОК-60, ВОК-63 и ВЗ. Твердость пластинок из кермета и минералокерамики практически одинакова. Керметы применяются для окончательной обработки металлов резанием.

Таблица 1.8.

Основные характеристики и область применения некоторых инструментальных материалов на основе кубического нитрида бора

М а р к а	Состав	Твердость HV, ГПА	Область применения
Эльбор-Р (К 01)	КНБ	до 90	Чистовая обработка закаленных сталей с HRC 40-63, чугунов
Гексанит - К01, К10, К108	КНБ	60	Чистовая обработка закаленных сталей с HRC 40-68, чугунов, твердых сплавов
Композит 05	КНБ+ Al_2O_3	45	Получистовая обработка чугунов, в том числе отбеленных и других материалов, дающих стружку надлома
Силинит	Si_3N_4 , Al_2O_3 и другие добавки	До 96 HRA	-
BN100 (Япония)	КНБ+добавки	45	Чистовая обработка закаленных сталей с HRC 68
BN230 (Япония)	НБ+TiC	45	Получистовая и чистовая обработка углеродистых, инструментальных сталей, подшипниковых сталей твердостью HRC более 45
Сиалон (Англия)	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3$ + AlN	-	Обработка чугуна, коррозионностойких сталей с припусками до 12 мм
Кион 2000 (США)	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3$ + AlN	-	Обработка чугуна, коррозионностойких сталей с припусками до 12 мм

1.7. Природные и синтетические алмазы

Алмаз по своей природе представляет собой одну из аллотропических модификаций углерода. Основными разновидностями технических алмазов являются борт, баллас и карбонадо. Борт - кристалл октаэдрической формы с дефектами; баллас - шаровидный агрегат мелкозернистого строения; карбонадо - тонкозернистый пористый агрегат черного цвета. Кристаллы алмаза отличаются большой анизотропией и имеют так называемые "твердые" и "мягкие" направления, в которых твердость и прочность неодинакова. При подготовке кристаллов алмаза для инструментов их необходимо обрабатывать в "мягком" направлении, а при закреплении кристаллов в инструменте располагать их так, чтобы износу сопротивлялись "твердые" направления.

В режущих инструментах применяют кристаллы алмаза весом от 0,31 до 0,75 карата (1 карат равен 0,2 г). Закрепление кристаллов в инструменте осуществляется пайкой и механическим путем.

Алмаз обладает многими свойствами, весьма полезными для оснащения режущих инструментов, в первую очередь, исключительно высокой твердостью (100 ГПа). Алмаз отличается высокой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности $\lambda = 140 \text{ Вт/(мК)}$), намного превышающий теплопроводность всех известных инструментальных материалов. Малый коэффициент линейного расширения алмаза $(0,73-1,45) \cdot 10^{-6}$ позволяет производить алмазным инструментом точную размерную обработку. Низкий коэффициент трения по стали ($\mu = 0,17-0,05$) и малая склонность к адгезии обеспечивают при резании алмазными инструментами низкую шероховатость обработанной поверхности.

Но наряду с перечисленными достоинствами алмаз имеет и ряд серьезных недостатков, из которых главным является пониженная прочность. Предел прочности алмаза на изгиб составляет 300 МПа, а предел прочности на сжатие 3000 МПа, что значительно меньше, чем у твердых сплавов. При нагревании алмаза в контакте с железом происходит интенсивное растворение алмаза в железе. Поэтому критические температуры при резании не должны превышать 700-750°C.

Высокая хрупкость и относительно низкая теплостойкость алмаза не позволяют применять его при обработке стали и чугуна. Алмазные инструменты в настоящее время успешно применяют при обработке цветных металлов, прочных пластмасс и полупроводников.

Совершенствование технологии получения синтетических алмазов позволило готовить поликристаллические образования достаточно больших размеров, из которых делают вставки-лезвия к режущим инструментам. По твердости синтетические алмазы лишь незначительно уступают природным. Синтетические алмазы маркируются буквами "АС". Применяются для плавкой и чистовой обработки со скоростями резания 1000-1200 м/мин.

1.8. Сверхтвердые материалы

В настоящее время инструментальная промышленность выпускает сверхтвердые материалы на основе нитрида бора - композиты. Кубический нитрид бора представляет собой соединение бора 43,6% и азота 56,4%, имеющего так же, как и графит, гексогональную кристаллическую решетку. При высоком давлении и температуре гексогональная решетка превращается в кубическую. Кубический нитрид бора (КНБ) - весьма твердый, теплостойкий и химически устойчивый материал. По твердости КНБ (90 ГПа) близок к алмазу, а по теплостойкости (1300° С) превосходит его. КНБ инертен к железоуглеродистым сплавам. Для изготовления режущих инструментов используются поликристаллы КНБ и композиционные материалы ("композиты"), созданные на его основе. Композиты (Табл.3.1) подразделяются на эльбор-Р (композит 1), гексанит (композит 10), композит 05, композит 10Д, силинит. Все они выпускаются в виде цилиндров диаметром 4-8 мм и высотой 3-6 мм.

Расширение применения сверхтвердых материалов в качестве режущих инструментов обусловлено внедрением в машиностроение все больших объемов труднообрабатываемых материалов, процессов точного литья с малыми припусками под механическую обработку, а также созданием нового высокопроизводительного автоматизированного оборудования в комплексе с эффективным режущим инструментом.

Рациональное применение инструмента из сверхтвердых материалов - один из перспективных путей интенсификации металлообработки, особенно на станках с ЧПУ, многоцелевых станках, в гибких производственных модулях и системах.

1.9. Абразивные материалы

Абразивными материалами называют вещества природного или синтетического происхождения, содержащие минералы высокой твердости и прочности, зерна и порошки которых способны обрабатывать поверхности других твердых тел путем царапания, скобления или истирания. Их применяют для изготовления шлифовальных и заточных кругов, головок, брусков, хонов, а также для доводочных и полировальных паст и порошков.

Абразивные материалы разделяются на естественные и искусственные. К первым относятся кварц (SiO_2), наждак и корунд. Все они содержат сравнительно низкие режущие свойства и поэтому мало применяются в обрабатывающей промышленности. Для абразивных инструментов в основном применяются искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, силикокарбид бора, синтетические алмазы.

Электрокорунд получают методом плавки в дуговых электропечах при температуре 2000-2050°C из материалов, богатых окисью алюминия (бокситы, глинозем). Электрокорунд - весьма твердый, плотный и термостойкий материал. В зависимости от процентного содержания Al_2O_3 , он бывает нормальный, белый, легированный и монокорунд.

Электрокорунд нормальный содержит до 95% Al_2O_3 . Выпускают его марки 12А, 13А, 14А, 15А и 16А. Применяют электрокорунд нормальный для менее ответственных кругов при шлифовании сталей, чугунов и твердых бронз.

Электрокорунд белый содержит более 97% Al_2O_3 . Выпускают его марки 22А, 23А, 24А и 25А. Имеет белый, серовато-белый или светло-розовый цвет. Электрокорунд белый более тверже, чем электрокорунд нормальный. Применяют электрокорунд белый для резьбошлифовальных, заточных кругов, выполняющих более точные работы, бруски к хонинговальным и суперфинишным головкам.

Легированный электрокорунд бывает хромистый, титанистый и циркониевый. Электрокорунд хромистый (технический рубин) получают из глинозема с добавкой от 0,4 до 2% Cr_2O_3 . По сравнению с электрокорундом белым зерна хромистого электрокорунда более стабильны по физико-механическим свойствам, более тверже. Выпускают марки 32А, 33А и 34А. Электрокорунд титанистый (технический сапфир) получают плавкой глинозема с добавкой 2-3% окиси титана. Его зерна имеют повышенную режущую способность, он тверже хромистого электрокорунда. Выпускается марки 37А. Электрокорунд циркониевый получают из глинозема, двуокиси циркония (10-40%) и окислов титана. Циркониевый электрокорунд более твердый (21 ГПа) и износостойкий, чем титанистый электрокорунд. Выпускается марки 38А.

Монокорунд - одна из разновидностей электрокорунда, зерна которого имеют форму правильных кристаллов малых размеров или их осколков. Его особенность - наличие большого числа граней, а значит, режущих кромок зерна. Применяется монокорунд для скоростных и заточных кругов, а также для микропорошков. Выпускается марки 43А, 44А и 45А.

Карбид кремния (SiC) получают в электропечах при температуре 1800-1850°C из материалов, богатых кремнеземом и материалов с высоким содержанием углерода. Карбид кремния обладает большой твердостью (32-35 ГПа) и крепкостью, чем электрокорунд, имеет более острые режущие кромки. Карбид кремния делится на черный и зеленый. Карбид кремния черный обозначается маркой 5С, содержит 95-98% SiC и имеет черный или темно-синий цвет. Выпускаются марки 52С, 53С, 54С и 55С. Применяется карбид кремния черный для заточки инструментов, шлифования твердых сплавов и хрупких материалов. Карбид кремния зеленый выпускается марки 62С, 63С, 64С. По твердости и остроте режущих кромок карбид кремния зеленый превосходит карбид кремния черный. Карбид кремния зеленый применяют для заточки быстрорежущих и твердых сплавных инструментов и правки шлифовальных кругов.

Карбид бора (B_4C) получают при плавке борной кислоты B_2O_3 и нефтяного кокса в электропечах. Он имеет серовато-черный цвет, содержит до 93% B_4C и 1,5% свободного углерода. Карбид бора значительно тверже (39-44 ГПа) карбида кремния, но термостойкость ниже. Поэтому применяется в виде микропорошков или паст для доводки твердосплавных инструментов.

Силикокарбид бора получают методом восстановительной плавки в дуговой печи смеси борной кислоты, нефтяного кокса и кварцевого песка. Его режущая способность намного выше карбида бора. Применяется в виде высококачественных микропорошков для обработки технических рубинов, твердых сплавов и других весьма твердых материалов.

Синтетические алмазы в зависимости от размеров зерен, метода их получения и контроля делятся на две группы: шлифпорошки зернистостью 630-50 мкм и микропорошки зернистостью 40-3 мкм.

Шлифпорошки бывают пяти марок: АСО - обычной прочности для изготовления инструментов на органических связках; АСР - повышенной прочности для инструментов на керамических и металлических связках; АСВ высокой прочности для инструментов на металлических связках, работающих при повышенных удельных нагрузках; АСК - более прочные, чем АСВ, рекомендуются для инструментов на металлических связках, применяемых в особо тяжелых условиях работы (хонингование закаленных чугунов и др.); АСС - обладают наибольшей из всех марок порошков прочностью, рекомендуются для инструмента, применяемого в процессе правки абразивных кругов.

Микропорошки выпускают двух марок: АСМ - нормальной абразивной способности для обработки твердых сплавов, стали, чугуна, стекла и других материалов; АСН - повышенной абразивной способности для обработки алмазов, корундов и других особо твердых материалов.

1.10. Основные пути и методы повышения качества режущих инструментов

Высокопроизводительная эксплуатация современных мощных и скоростных металлорежущих станков, станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, гибких производственных модулей и систем, создание безлюдных технологий диктуют непрерывного повышения качества режущего инструмента, изыскания путей и методов надежного и оптимального использования его.

При изготовлении режущих инструментов из быстрорежущей стали получили применение различные способы химико-термической обработки, позволяющие значительно улучшить ряд таких показателей качества инструмента, как твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и др. Наиболее распространенными являются следующие виды химико-термической обработки [2,13,6].

Азотирование, нитрирование - диффузионное насыщение поверхностного слоя толщиной 0,2-0,8 мм в среде аммиака или в расплаве солей на основе карбамида при температуре 500-650° С.

В результате повышаются твердость, износостойкость, коррозионная стойкость и сопротивление усталости.

Борирование - насыщение поверхности бором для повышения твердости, теплостойкости, износостойкости, коррозионной стойкости.

Цианирование - насыщение поверхностного слоя инструмента углеродом и азотом одновременно. Цианирование производится после термообработки и окончательной заточки. После цианирования получают слой толщиной 20-30 мкм, обладающий высокой твердостью (до 70 HRC), а также теплостойкостью и износостойкостью. После цианирования стойкость инструмента повышается в 1,5-2 раза.

Алитирование - насыщение поверхностного слоя инструмента алюминием на глубину 0,02-1,2 мм для повышения теплостойкости.

Находит применение упрочнение режущих элементов инструмента поверхностным пластическим деформированием. Для инструментов из быстрорежущей стали упрочнение производится после закалки с помощью алмазного выглаживания, обкатки шариком, ультразвука. Например, алмазное выглаживание зубьев протяжек повышает в 2-3 раза их стойкость по сравнению с шлифованием и на 20-40% по сравнению с полированием.

Одним из способов поверхностного деформирования твердосплавных пластин является виброабразивная и дробеструйная обработка. Виброабразивная обработка повышает стойкость пластин при фрезеровании в 1,2-2 раза, при точении - в 1,5 раза.

Внедрение технологии склеивания режущих инструментов исключает трещинообразование и снижает себестоимость изготовления инструмента на 20%. При переводе паяных и сварных конструкций на клееную увеличивается стойкость инструмента в 1,3-1,5 раза.

Метод химико-термического образования покрытия лишь ограниченно увеличивает поверхностные свойства за счет варьирования технологическими параметрами процесса, поэтому эффективность этого метода относительно невысока. Более широкое распространение получил метод химического осаждения покрытий из парогазовой фазы (метод ХОП).

Методы ХОП получили широкое распространение для нанесения покрытий на основе карбидов, нитридов, карбонитридов титана, а также окисла алюминия на многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластинки.

Отличительной особенностью покрытий, полученных методами ХОП, является формирование переходной зоны между покрытием и твердым сплавом. Формирование переходной зоны связано с интердиффузионными реакциями между насыщающим тугоплавким металлом из парогазовой смеси и компонентами твердого сплава.

Методы ХОП обычно реализуются при температурах около 1000-1100° С, что исключает их использование для нанесения покрытий на инструменты из быстрорежущей стали, подвергнутые полной термической обработке.

Очень широкое распространение получили методы физического осаждения покрытия. Этот процесс обычно включает вакуумное испарение тугоплавкого металла - образователя соединения покрытия, его частичную или полную ионизацию, подачу реакционного газа, химические и плазмохимические реакции, конденсацию покрытия на рабочих поверхностях режущего инструмента.

Среди этих методов наибольшее распространение получил метод конденсации покрытий из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхностей инструмента (метод КИБ), а также метод реактивного электронно-лучевого плазменного осаждения покрытий из пароплазменной фазы в вакууме (метод РЭП).

Возможность широкого варьирования температурой в зонах нанесения покрытий позволяет использовать вакуумно-плазменные методы в качестве универсальных методов для нанесения покрытий на инструменты из твердых сплавов и быстрорежущей стали.

Вакуумно-плазменные методы универсальны и с точки зрения возможности получения широкой гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на базе нитридных, карбидных, карбонитридных, оксидных, боридных соединений тугоплавких металлов IV-VI групп Периодической системы элементов. Эти методы позволяют более эффективно управлять процессами получения покрытий с заданными свойствами, а также предупреждать образование геометрических, кристаллохимических и физико-механических дефектов на поверхностных слоях инструментального материала.

Одним из важнейших параметров покрытия, оказывающим сильное влияние на работоспособность режущего инструмента, является его толщина.

Выбор оптимальной толщины покрытия во многом определяется свойствами инструментальной матрицы.

В таблице 1.8. представлены обобщенные данные [2] оптимальных значений толщины покрытий для твердосплавных пластинок широкой области использования.

Исследованиями [2] установлены оптимальные толщины покрытий, полученных методом КИБ. Для широкой области изменения условий резания оптимальное значение толщины покрытий для инструментов из быстрорежущей стали, работающих в условиях наростообразования снижается до 3-5 мкм, в то время как при отсутствии нароста это значение может быть увеличено до 5-7 мкм. Для твердосплавных пластинок ВК6, Т5К10, ТТ10К8Б при точении конструкционных сталей при значениях подач 0,01-0,6 мм/об оптимальной толщиной покрытий является значение в пределах 6-10 мкм.

Таблица 1.9.

Покрытие, полученное методом КИБ	Толщина покрытия, мкм					
	ВК 6	T5K 10	TT10K 8Б	ВК 6	TT10K 8Б	TT7K 12
	Точение			Фрезерование		
	Чугун	Сталь		Сталь		
TiN, ZrN, (Ti-Cr), MoN, CrN	6-8	6-8		3-5		

Для прерывистых процессов резания в условиях знакопеременных значений тепловых и силовых напряжений оптимальную толщину покрытий для инструментов из твердых сплавов и быстрорежущих сталей следует снижать до 3-5 мкм.

Практика применения инструментов с износостойкими покрытиями показала их надежность и стабильность в процессе резания, увеличение стойкости в 2-3 раза, уменьшение сил резания и температуры на 20-25%.

Контрольные вопросы

1. Каким общим требованиям должен соответствовать инструментальный материал?
2. Какой из инструментальных материалов имеет наиболее высокую красностойкость?
3. Можно ли применять режущий инструмент из быстрорежущей стали, если температура в зоне резания будет выше 700°C?
4. У какого из перечисленных ниже инструментальных материалов будет наибольшим предел прочности при изгибе: T5K12, ВК6М, ЦМ332, алмаз; композит?
5. Из каких компонентов состоит твердый сплав Т30К4?
6. Будет ли эффективным применение алмаза в качестве режущего элемента инструмента при обработке черных металлов?

Глава 2.

РЕЗЦЫ

2.1. Назначение и основные типы

Одним из наиболее простых и распространенных металлорежущих инструментов является резец. Резцы применяют на токарных, револьверных, карусельных, расточных, строгальных, долбежных станках, токарных автоматах и полуавтоматах и на других специальных станках.

В зависимости от вида станка и рода выполняемой работы применяют резцы различных типов, отличающихся по назначению, форме, конструкции и размерам. По назначению токарные резцы бывают следующих типов (рис.2.1.): проходные 6, 8 и проходные упорные 4, подрезные 1, отрезные и прорезные 5, расточные 9, 10, фасонные 2, резьбовые 7, резцы для чистовой обработки 3 и др.

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

По направлению движения: правые 6 и левые, радиальные и тангенциальные.

По форме головки (режущей части): правые 6, 3, отогнутые 1, 4, 8, 10, оттянутые 5, 7 и изогнутые.

По конструкции: цельные и сборные (сложной конструкции с различными способами крепления режущих пластинок) и резцовые блоки.

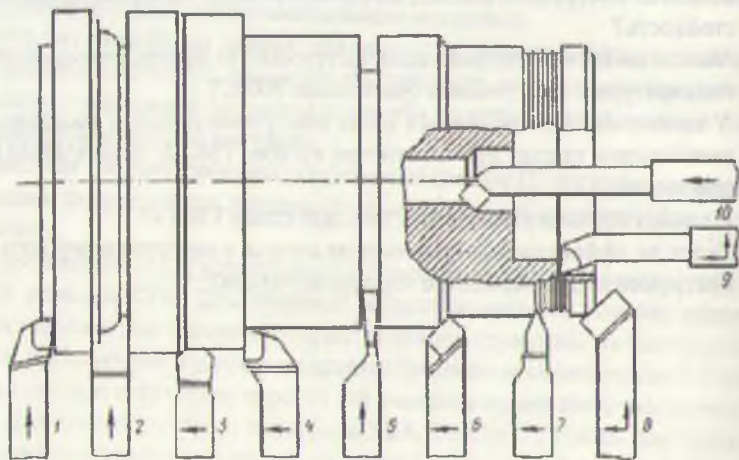


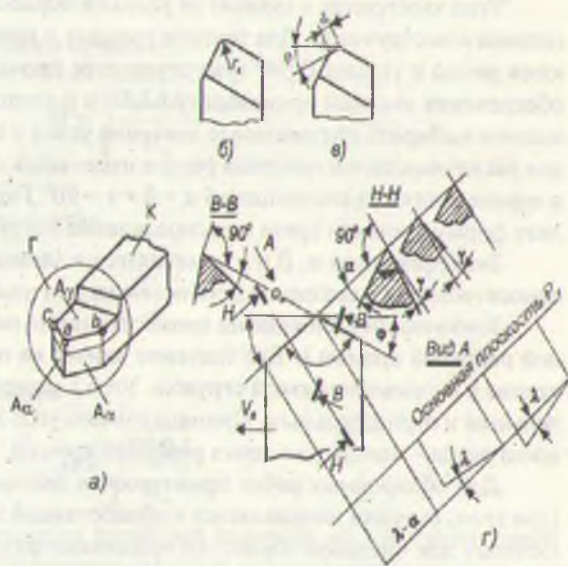
Рис 2.1 Основные типы токарных резцов

Конструктивные элементы резца. Токарный резец представляет собой пространственное геометрическое тело сложной формы. Резец состоит (рис 2.2) из рабочей части (головка Г) и корпуса К (стержень, державка, хвостовик), изготовляемого из конструкционной стали и служащего для закрепления резца на станке. Токарные резцы могут иметь одну или несколько режущих кромок (прямолинейных или криволинейных).

На рис 2.2а: ав — главная режущая кромка; ас — вспомогательная режущая кромка; а — вершина резца;

A_1 — передняя поверхность; A_2 — главная задняя поверхность; A_3 — задняя вспомогательная поверхность.

Рис. 2.2
Конструктивные
элементы и
геометрические
параметры
токарного резца



Лезвие ограничено передней A_1 , главной A_2 и вспомогательной, A_3 задними поверхностями. Пересечение передней и задней поверхностей лезвия образует главную режущую кромку. Пересечение передней поверхности со вспомогательной задней поверхностью образует вспомогательную режущую кромку. Главная и вспомогательная режущие кромки, пересекаясь, образуют вершину лезвия. Вершину лезвия выполняют по радиусу r (рис. 2.2, б), иногда с переходной режущей кромкой (рис. 2.2, в), обеспечивающей улучшение шероховатости обрабатываемой поверхности и повышающей стойкость резца.

Геометрическая форма лезвия резца определяется следующими геометрическими параметрами (рис 2.2, г): главный передний угол γ , главный задний угол α , вспомогательный задний угол α' , угол резания δ , угол заострения β ,

угол наклона режущей кромки λ , главный угол в плане ϕ , вспомогательный угол в плане ϕ_1 , угол при вершине ϵ , радиус вершины r . Указанные параметры выбирают по справочникам, исходя из физико-механических свойств материала обрабатываемых заготовок, характера обработки, служебного назначения резцов, жесткости системы: станок – приспособления – инструмент – деталь (заготовка); требования 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 заострения зависит от условий обработки, свойств материала заготовки и инструмента. Для точения твердых и прочных материалов применяются резцы с углами $\beta > 90^\circ$ (увеличивается прочность режущей части). Для обеспечения высокой производительности и экономичности обработки необходимо выбирать оптимальные значения углов γ и β . Главный задний угол α для различных типов токарных резцов изменяется от 5° до 15° . Углы заострения в определяют из соотношения $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Главный угол в плане ϕ определяет форму площади среза и распределение нагрузки на инструмент.

Значения углов α , β и γ изменяются в зависимости от установки резца относительно оси вращения детали (выше или ниже её).

Значительное влияние на процесс резания оказывает угол наклона главной режущей кромки λ . Его значение влияет на прочность режущей кромки лезвия и направления выхода стружки. Угол λ может быть равен нулю, положительным и отрицательным. Принято считать угол λ положительным, если вершина резца – наинизшая точка режущей кромки.

Для обдирочных работ применяются положительные углы λ (до $+60^\circ$). При этом, стружка направляется к обработанной поверхности (стр.4) детали. Поэтому для чистовой обработки применяют резцы с отрицательными углами λ (до -5°), когда стружка направлена к обрабатываемой поверхности по направлению движения подачи. 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, удаленной от нее.

Габаритные размеры резцов. С целью унификации присоединительных размеров резцедержателей станков сечения резцов стандартизованы. Принят следующий ряд размеров сечения $H \times B$, мм²: квадратные 4x4; 6x6; 8x8; 10x10; 12x12; 16x16; 20x20; 25x25; 32x32; 40x40; прямоугольные 16x10; 20x12; 20x16; 25x16; 25x20; 32x20; 32x25; 40x25; 40x32; 50x32; 50x40; 63x50; круглые диаметром от 10 до 40 мм. Прямоугольная форма сечения принята с отношением сторон $H:B=1,6$ для полуклассовой 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, $l = (1,0-1,5) H$, здесь H – высота резца. Изгибающий момент, допускаемый сечением державки резца, $M = \sigma_u W$, где σ_u – 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 $M = M_u$ и $H:B = 1,6$, получим;

Для резца прямоугольного сечения

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

для резца квадратного сечения

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 P_z l}{\sigma_u}}$$

для резца круглого сечения

$$B = \sqrt[3]{\frac{10 P_z l}{\sigma_u}}$$

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.

2.2. Резцы из быстрорежущей стали

Резцы из быстрорежущей стали изготавливают 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 обрабатываемого материала. Применяют четыре формы заточки пере-

дней поверхности (рис 2.3). Плоскую форму с положительным передним углом (рис 2.3, а) рекомендуют для обработки заготовок из стали с $\sigma_s > 800$ 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 $\sigma_s \leq 800$ МПа и чугуна с $HB \leq 220$. Криволинейные формы передней поверхности обеспечивают завивание и дробление стружки при обработке вязких материалов. Форму, показанную на рис. 2.3, в, применяют при обработке заготовок из стали с $\sigma_s \leq 800$ МПа, а форму, показанную на рис. 2.3, г – при обработке легких сплавов.

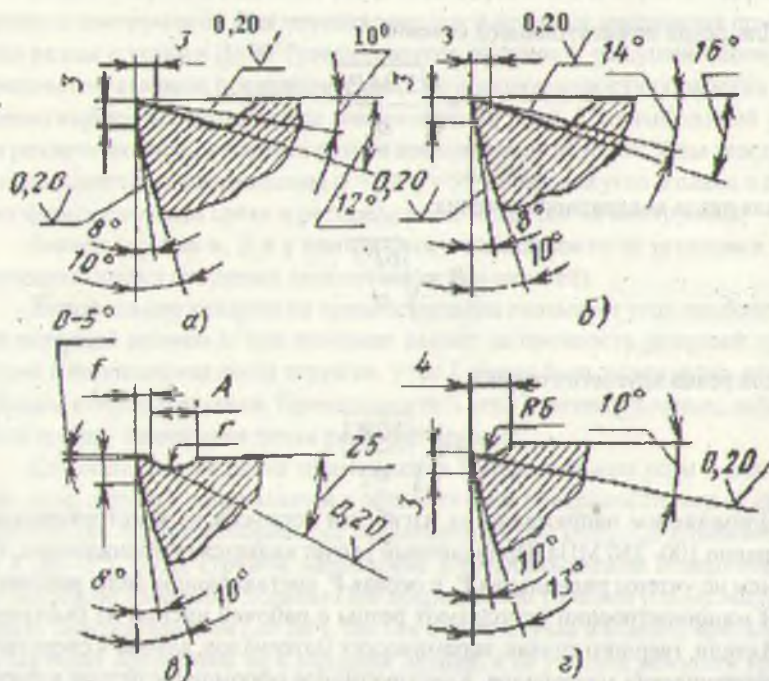


Рис. 2.3. Форма заточки передней поверхности резцов из быстрорежущей стали

Конструктивные особенности расточных резцов

Расточные резцы служат для обработки отверстий (рис. 2.1). Они работают в менее благоприятных условиях, чем проходные резцы для наружной обработки. Расточные резцы должны иметь меньшие поперечные размеры, чем обрабатываемое отверстие, вылет резца должен быть больше длины растачи-

пемого отверстия. В силу малой жесткости расточные резцы склонны к вибрациям, что не даст возможности снимать стружку большого сечения. Задние поверхности расточных резцов выполняются так, чтобы исключить пересечение её с обрабатываемой поверхностью заготовки.

Конструктивные особенности отрезных резцов

Отрезные резцы (рис. 2.4) 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 её прочность недостаточна, поэтому для увеличения её сечения приходится назначать небольшие вспомогательные углы в плане ϕ и задние вспомогательные углы α , за счет снижения стойкости. Это углы назначают в пределах $1-2^\circ$. Кроме этого, затруднен отвод стружки из зоны резания. Отрезной резец обычно не удаляет весь материал на срезе, и в конце резания 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, б), а не 90° , как обычно.

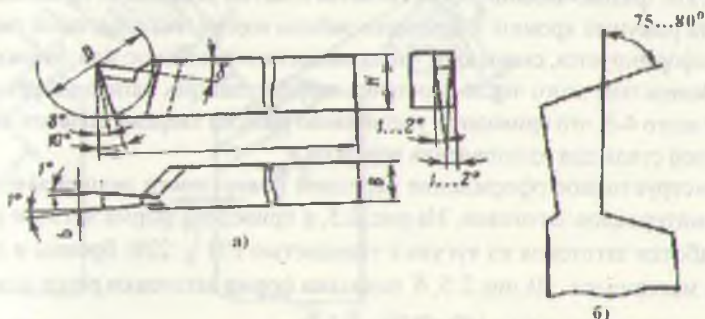


Рис. 2.4. Конструктивное оформление передней поверхности отрезных резцов.

2.3. Твердосплавные резцы

Появление инструментов, оснащенных твердосплавными пластинками, позволило осуществлять процесс резания на высоких скоростях. Высокие твердость и теплостойкость твердых сплавов позволяют обрабатывать заготовки из труднообрабатываемых конструкционных материалов и закаленных сталей. Твердосплавные резцы изготавливают цельными, составными, с припаянными или приваренными пластинками из твердого сплава и с механически

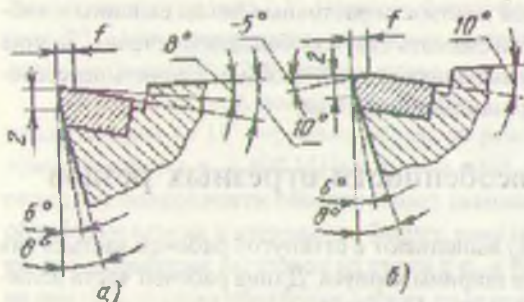


Рис.2.5. Конструктивное оформление передней поверхности твердосплавных резцов

ким креплением. Цельными делают малогабаритные резцы, главным образом, расточные.

Резцы с припаянными твердосплавными пластинками просты по конструкции, технологичны, виброустойчивы, удобны в эксплуатации. Однако они обладают существенными недостатками. Коэффициент линейного расширения твердых сплавов в два 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 возникает напряжения, которые могут вызвать образование микротрещин в пластине. В результате, физико-механические свойства пластин ухудшаются и уменьшается прочность режущей кромки. В процессе работы корпус под пластиной твердого сплава деформируется, 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.

Конструктивное оформление передней поверхности резцов зависит от свойств материалов 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 показана форма заготовки резца для обработки заготовок из чугуна с $HB > 220$.

Отрицательная фаска вдоль режущей кромки упрочняет последнюю, при этом, кромка испытывает напряжение сжатия (предел прочности твердого сплава на сжатия выше, чем на изгиб).

При точении пластичных материалов (стали, жаропрочные и титановые сплавы, цветные металлы и др.) образуются сливные и суставчатые стружки, которые опасны для рабочего, мешают наблюдению за процессом обработки и может повредить обработанную поверхность. Кроме того, необходимы эффективное удаление его из зоны обработки. Для этого необходимы дополнительные меры, обеспечивающие надежное стружкозавивание и стружкодробление.

Организация дробления и транспортировка стружки особо важна в автоматизированном производстве (при работе на станках с ЧПУ, на агрегатных стан-

и автоматических линиях) и при точении на повышенных скоростях резания.

Поэтому было создано большое количество различных методов и способов стружкозавивания и стружкодробления.

Наиболее эффективными являются следующие; а) создание специальных стружколомов как нерегулируемые (уступы, порошки на передней поверхности резцов, припаянные пластины и т.п.), так и регулируемые (накладные стружколомы, закрепленные на корпусе резцов), а также специальные стружколомающие устройства.

Одним из способов, обеспечивающих дробление стружки, является подбор отрицательного переднего угла $\gamma = -(10-15)^\circ$, главного угла в плане $\Phi = 60-90^\circ$ и угла наклона режущей кромки $\lambda = 10-15^\circ$, способствующих завиванию и дроблению стружки за счет увеличения ее деформирования в процессе резания.

Метод стружкодробления с помощью уступа на передней поверхности (рис. 2.6, а) не является универсальным, так как параметры уступа B , T , h и ε

назначают в зависимости от свойств материала заготовки и подачи.

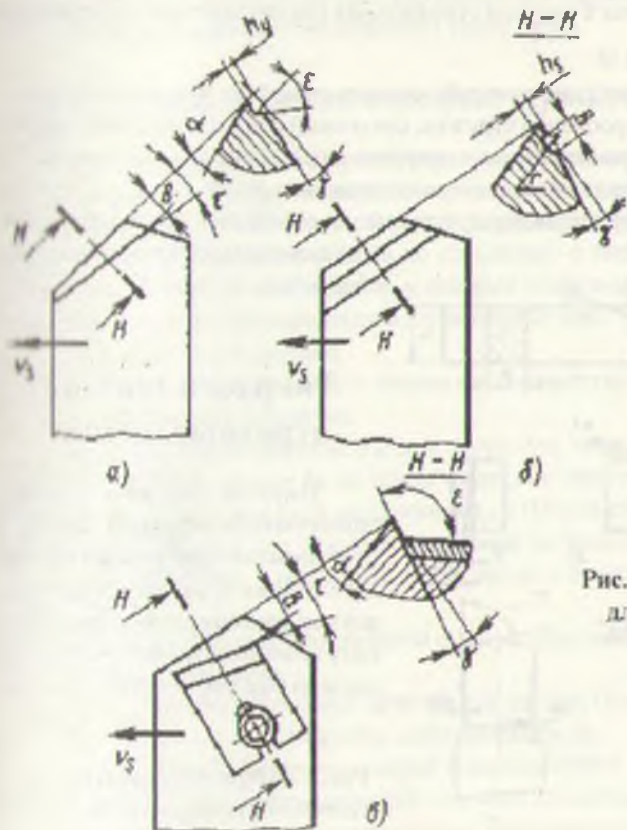


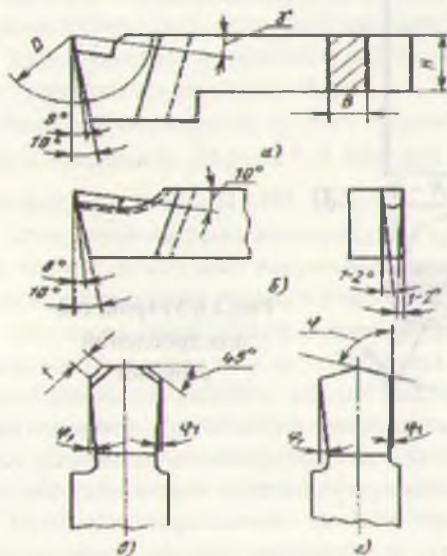
Рис.2.6. Устройства для дробления стружки

Завивание и дробление стружки можно также обеспечить с помощью лунки (канавки), образованной на передней поверхности, параллельном главной режущей кромки или наклонном к нему (рис. 2.6, б). По сравнению с уступом лунка предпочтительнее из-за меньшего расхода инструментального материала. Лунку вышлифовывают в виде части цилиндрической поверхности с радиусом r , но возможно и комбинированные варианты уступа с лункой.

Накладной регулируемый стружколом (рис. 2.6, 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 T между стружколомом и режущей кромкой, угол ε наклона контактной поверхности стружколома; $\varepsilon = 135^\circ - \gamma$, где γ - передний угол. Величина B зависит в основном от подачи и с её увеличением значения B увеличиваются. Угол T наклона стружколома увеличивается с увеличением главного угла в плане φ .

В качестве специального устройства применяют так называемый "кинематический" метод дробления стружки, связанный с осуществлением прерывистой подачи инструмента путем наложения на резец низкочастотных (до 50 Гц) вибраций в направлении продольного движения резца.

Существуют и другие методы, которые целесообразно применять в конкретных технологических условиях обработки.



Твердосплавные отрезные резцы

Имеется ряд конструкций, применяемых отрезных резцов с припаянными пластинками из твердого сплава. Одна из распространенных конструкций по внешнему виду не отличается от конструкции резца из быстрорежущей стали (см.

Рис. 2.7. Отрезные резцы с твердосплавными пластинами

рис. 2.4., а). К державке припаяна пластина из твердого сплава прямоугольного сечения. Углы Φ и α увеличены до $2 - 3^\circ$. Данная конструкция не обеспечивает стабильности в работе из-за частых поломок рабочей части, отпаивания пластины или её сколов на уголках. Для увеличения прочности высоту рабочей части резца делают больше высоты корпуса. (рис. 2.7, а)

Для повышения прочности соединения пластины с державкой целесообразно пластину, имеющую скосы, напаять в угловой паз державки, что, соответственно, увеличивает площадь прилегания ее к державке (рис. 2.7, б).

Кроме того, боковые стенки паза препятствуют смещению пластины под действием боковых усилий, возникающих в процессе работы резца.

Во избежание сколов по углам применяют заточку фасок $f \times 45^\circ$ на переходных режущих кромках с отрицательным передним углом (рис. 2.7, в).

Находят применения также отрезные резцы с симметричной ломаной режущей кромкой (рис. 2.7, г) с углами в плане $\Phi = 60 - 80^\circ$. Такое оформление режущей части резца облегчает его врезание в заготовку, улучшает условия скола стружки, снижает возможность увода резца.

2.4. Резцы с механическим креплением пластин

В машиностроении широко применяется механическое крепление пластин к державке резцов. Резцы, оснащенные многогранными твердосплавными пластинами с их механическим креплением к корпусу инструмента, имеют ряд существенных преимуществ 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 прочности и долговечности, так как опорная поверхность под пластиной в корпусе резца может иметь высокую твердость. В этом случае в корпусе резца может быть использована 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 её.

5. Большинство типоразмеров пластин имеют фасонную форму передней поверхности, обеспечивающую ломание или завивание стружки. Для пластин с плоской передней поверхностью предусмотрены многогранные пластинки.

тины – 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 крепления можно свести к нескольким схемам. (рис. 2.8, б – д). тины – 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 крепления можно свести к нескольким схемам. (рис. 2.8, б – д).

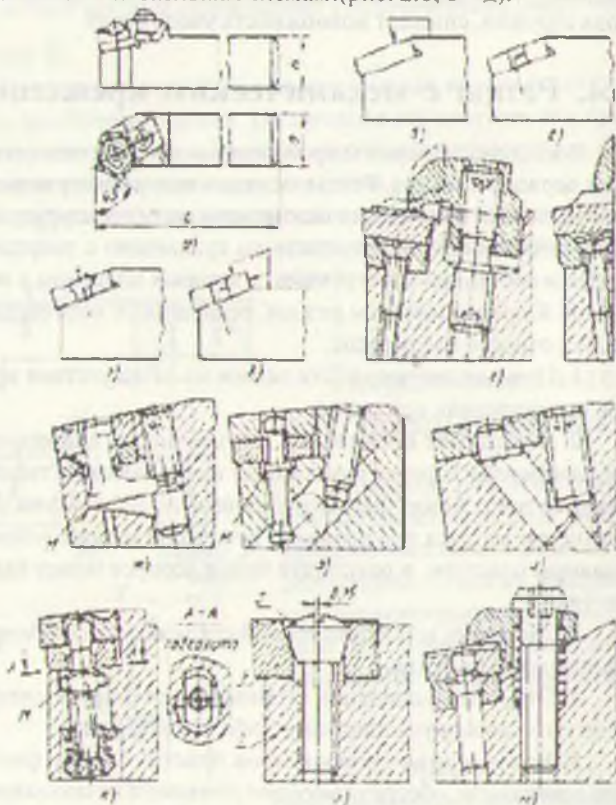


Рис. 2.8. Схемы крепления многогранных пластин

Крепления прихватом (рис. 2.8., б, е) применяют для пластин без отверстий, в том числе из керамических материалов. Пластину 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 стружаломамы.

Возможно применение поворотного элемента (рычага, качающего штифта) или косой тяги (рис. 2.8, в, ж–к), обеспечивающих прижим к боковым поверхностям закрытого паза корпуса. Этот метод применяют для крепления пластины 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).

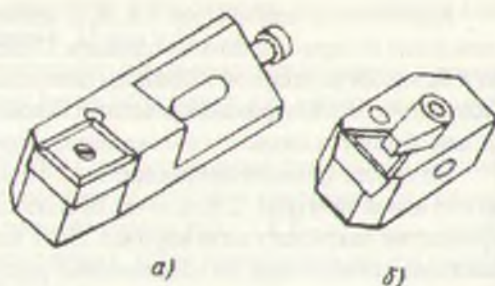
Схема крепления, приведенная на рис. 2.8, г, предусматривает применение пластины с коническим отверстием для крепления винтами с конической головкой. Ось винта 3 сдвинута на 0,15 мм относительно отверстия пластины (рис. 2.8, д), что обеспечивает прижим пластины 2 к опорной и боковым сторонам 1 закрытого паза. Крепление отличается простотой и получило широкое распространение.

Крепления пластина между штифтом и клином – прихватом (рис. 2.8, д, м) прижимает пластину к опорной поверхности. Закрытый паз для базирования пластины по её боковым поверхностям отсутствует, поэтому при повороте и замене пластины вершина её 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 применять 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 повторную настройку резца на размер.

Кроме резцов стандартных размеров, многогранными пластинами оснащают резцовые вставки (рис. 2.9.)

Резцовые 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.

Рис. 2.9. Резцовые
вставки



2.5. Алмазные резцы

В последние годы в связи с развитием технологии получения сверхтвердых материалов (поликристаллических алмазов, синтетических материалов на основе кубического нитрида бора - композитов) были созданы специальные конструкции резцов с режущей частью, оснащенной СТМ. К числу перспективных режущих инструментов относятся алмазные резцы, имеющие высокую стойкость и обеспечивающие высокое качество обработки. Особенно эффективно применение алмазных резцов при точении цветных металлов и их сплавов, пластмасс и многих труднообрабатываемых материалов. При обработке этих материалов стойкость алмазных резцов во много раз выше стойкости твердосплавных. Высокая стойкость алмазных резцов дает возможность работать длительное время (более 250 – 300 ч) без подналадки и смены инструмента. В связи с этим резко снижаются простои оборудования, и алмазное точение находит широкое применение в автоматизированном производстве.

Высокая стойкость алмазных резцов объясняется специфическими физико-механическими свойствами алмаза. Твердость и износостойкость алмаза намного превосходит твердость и износостойкость всех других инструментальных материалов.

Твердость алмазных резцов в 5 раз превышает твердость твердосплавных резцов, поэтому достигается большая эффективность при обработке ими материалов с высоким сопротивлением истиранию.

Большая износостойкость алмаза обуславливается низким коэффициентом трения, которая в 3 – 4 раза ниже коэффициента трения твердосплавных резцов.

Алмаз характеризуется также большой теплопроводностью, которая в 7 раз выше теплопроводности быстрорежущей стали и в 5 раз выше теплопроводности сплава Т15К6. Алмаз, обладая большим модулем упругости и малым коэффициентом теплового расширения, позволяет вести обработку с минимальными механическими и тепловыми деформациями, что в сочетании с износостойкостью алмаза способствует достижению высокой точности обработки.

Алмазные резцы изготавливаются из естественных технических алмазов

крупных размеров, типа "баллас" и "карбонадо", которые пригодны для изготовления лезвийных инструментов, в частности резцов.

На практике применяются алмазные резцы, пластина которых впаяна в открытый паз державки (рис. 2.10).

Крепление алмаза с помощью пайки позволяет получать резцы простой конструкции и использовать алмазы небольшой величины.

Однако изготовление алмазных резцов с закрытым пазом очень затрудняет переточку инструмента, так как для восстановления режущей способности такого резца после затупления приходится выпайвать алмаз.

При закрытом пазе державки при точении пластичных материалов наблюдается заклинивание стружки, контактирующей со стальной державкой, что снижает качество обработанной поверхности и вызывает повышенный износ инструмента. Поэтому более целесообразно применять резцы с открытой передней поверхностью (рис. 2.10, б), что облегчает их переточку и снижает интенсивность износа. Однако использование открытого паза не гарантирует надежное крепление алмаза в державке.

Известно несколько конструкций алмазных резцов с механическим креплением. Одна из них приведена на рис. 2.10, в, где используется промежуточная вставка 2.

Вставка изготавливается методом порошковой металлургии. Она прессуется и спекается вместе с алмазом, обрабатывается по профилю паза в державке резца и затем шлифуются рабочие грани алмаза. Крепление вставки 2 вместе с алмазом 1 производится винтом 3, прижимной планкой 4,



Рис. 2.10. Конструкции резцов с режущими элементами из алмаза и композита

опирающейся на штифт 5. Для прочного крепления алмаза $2/3$ части его длины должны прижиматься планкой.

Передний угол γ у алмазных резцов берут в пределах от 0 до -5° , задний угол $\alpha=4-8^\circ$, при обработке твердых материалов и $\alpha=10-12^\circ$ – при обработке мягких материалов. Угол наклона режущей кромки λ принят равным нулю.

На работу резца оказывают влияние величины углов в плане. Установлено, что при уменьшении вспомогательного угла в плане до 0° созданием зачистной фаски длиной $0,3-0,5$ мм (рис. 2.10, г) значительно уменьшается шероховатость обработанной поверхности.

Наиболее распространены алмазные резцы, имеющие форму режущей кромки в плане в виде фасовок, длина которых обычно колеблется в пределах $0,1-0,5$ мм (рис. 2.10, д).

Хорошие результаты получаются при криволинейной режущей кромке (рис. 2.10, е), однако получение радиусной формы режущей кромки связано с большими технологическими трудностями.

2.6. Резцы, оснащенные сверхтвердыми материалами

Области применения сверхтвердых материалов (СТМ) – композитов разных марок определяются размерами и физико-механическими характеристиками поликристаллов.

Композит 01 (эльбор - РМ) и композит 02 (белбор) - поликристаллы из кубического нитрида бора (КНБ) с минимальным количеством примесей – применяют для тонкого и чистового точения, преимущественно без удара, закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 1,5\%$) с глубиной резания $0,05-0,5$ мм (максимально допустимая глубина резания 1 мм).

Композит 05 – поликристаллы, спеченные из зерен КНБ со связкой – применяют для предварительного и окончательного точения без удара закаленных сталей ($HRC \leq 60$) и чугунов любой твердости с глубиной резания $0,05-3,0$ мм.

Композит 10 (гексанит - Р) и двухслойные пластины из композита 10 Д (композит 10 на подложке из твердого сплава) – поликристаллы на основе вюрцитоподобного нитрида бора (ВНБ) – применяют для предварительного и окончательного точения с ударом и без удара сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 15\%$) с глубиной резания $0,5-3,0$ мм, прерывистого точения.

Следует отметить, что резцы с пластинами или вставками из композита 01 обладают способностью самозатачиваться при изнашивании, т.е. сохраняют радиус скругления режущей кромки почти неизменным в пределах $R=20-50$ мкм в течение всего периода стойкости. Это способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности и, как следствие, повышает стойкость резцов

по технологическому критерию при чистовой обработке.

Эксплуатационные показатели инструмента из СТМ в значительной степени зависят от способа и технологии закрепления поликристаллического режущего элемента в инструменте.

Главным направлением развития конструкций инструментов из СТМ является создание резцов и фрез с механическим креплением цельных и двухслойных, круглых и многогранных шлифованных режущих пластин.

Выпускают широкую номенклатуру токарных и расточных резцов, режущих пластин и вставок с неразъемно-закрепленным поликристаллом.

В перетачиваемых вставках, токарных и расточных резцах с неразъемным креплением поликристалла композита последний закреплен путем вакуумной пайки, пайки металлизированных заготовок на установке токов высокой частоты (ТВЧ) или динамического горячего прессования. Лучшее качество обеспечивает пайка поликристалла в стальной или твердосплавный корпус адгезионно-активным припоем в вакууме.

Сборные конструкции этих инструментов должны быть жесткими и виброустойчивыми. Резец (рис. 2.11, а) представляет собой корпус 1, в котором крепится резцовая вставка 2 или непосредственно режущий элемент 3 из СТМ (цилиндрической, призматической или пластинчатой формы). Резцовая вставка (рис. 2.11, б) состоит из металлического корпуса с впаянным (в паз определенной формы) поликристаллом композита. Вставка прижимается к корпусу резца винтом 4 и специальной накладкой 5, играющей роль стружколома.

Конструктивные размеры вставок и их геометрические параметры стандартизованы.

Резцы, оснащенные керамикой

В последние годы увеличивается применение керамических режущих пластин. Основными преимуществами применения керамики являются повыше-

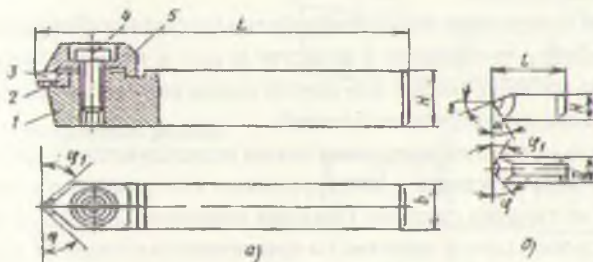


Рис. 2.11. Сборный проходной резец, оснащенный вставкой из СТМ: а – конструкция резца, б – конструкция вставки

ние производительности и качества обработки, стабильность цен и практически неограниченные сырьевые ресурсы исходного материала. Керамику, выпускаемую в настоящее время, можно разделить на несколько групп, которые различается химическим составом, методом производства и областями применения.

Первая группа – это наиболее широко известная оксидная (чистая или “белая”) керамика, состоящая в основном из оксида алюминия Al_2O_3 и легирующих добавок (MgO , ZrO и др.). Выпускаемые марки – ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332.

Вторая группа – керамико-оксидно-карбидная (смешанная, “металлическая”, “черная”) керамика, состоящая из оксида Al_2O_3 (до 60 %), TiC (до 20 – 40 %), ZrO_2 (до 20 – 40 %) и других карбидов тугоплавких металлов с некоторыми легирующими добавками. Применяются марки ВОК-60, В-3, ВОК-63, ОНТ-20 (кортинит).

К третьей группе относится керамика на основе нитрида кремния (Si_3N_4) с легированием оксидами иттрия, циркония, алюминия и др. Применяют в основном марку силинит – Р.

Известно, что инструменты из СТМ на основе нитрида бора и алмаза имеют свои области применения и практически не конкурируют друг с другом. Области применения керамики и СТМ на основе нитрида бора в значительной степени перекрываются.

Исследования и опыт внедрения инструментов с пластинами из керамики различных марок позволяют рекомендовать следующие области их применения: оксидная керамика марок ВО-13, ЦМ-332, ВШ-75 для чистовой и получистовой обработки нематермообработанных сталей, серых чугунов с высокими скоростями резания (до 800 – 1000 м/мин); оксидно-карбидная керамика марок ВОК-60, ВОК-63, В-3, кортинит ОНТ-20 для чистовой, получистовой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до HRC 30–65; кроме того, керамика В-3 и ОНТ-20 рекомендуется для обработки цветных сплавов на основе меди; нитридная керамика марки силинит Р – для получистовой обработки чугунов.

Исходя из конкретных условий обработки (состояние оборудования, припуски на обработку, требования к качеству и т.д.) в каждом случае следует корректировать применение той или другой марки керамики вплоть до проведения сравнительных экспресс-испытаний.

Для резцов с керамических пластинами используются резцы, конструкции которых унифицированы с конструкциями инструментов с пластинами без отверстий из твердых сплавов. Режущая пластина базируется на боковые поверхности глухого гнезда державки и прижимается к опорной поверхности прихватом сверху (рис. 2.8, е). Для быстрой смены крепления пластины используется винт с двумя разно направленными резьбами. По правой нарезке винт ввертывается в державку, а по левой – соединяется с прихватом. Для

пластин с плоской передней поверхностью для завивания и дробления стружки применяют стружало́мы из твердого сплава.

2.7. Строгальные и долбежные резцы

Строгальные резцы работают в более тяжелых условиях, чем токарные, так как вреза́ясь в обрабаты́ваемый металл с полным сечением среза, ре́зец испыты́вает удар, что отрицательно сказывается на его стойкости.

По роду выполняемой работы строгальные резцы разделяются на проходные (обдирочные и чистовые), отрезные, подрезные, пазовые и специальные (рис.2.12.)

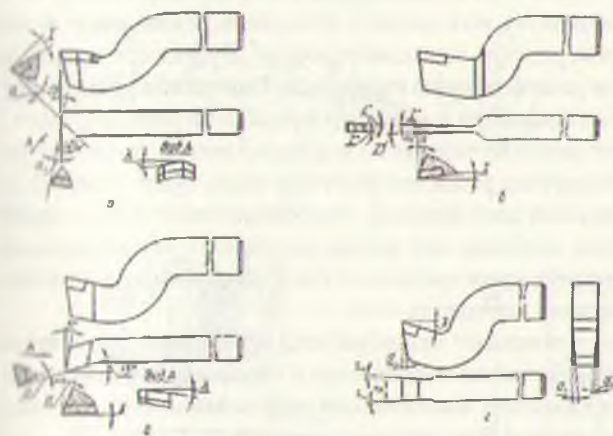
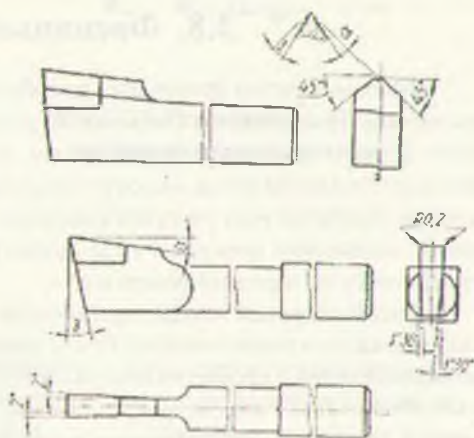


Рис. 2.12.
Строгальные
резцы

Рис. 2.13. Долбежные резцы



Проходные строгальные резцы (рис. 2.12,а) предназначены для строгания плоскостей с горизонтальной подачей, а подрезные (рис.2.12,б) для обработки вертикальных плоскостей с вертикальной подачей. Отрезные и прорезные строгальные резцы (рис.2.12,в) используются при отрезке и прорезке узких пазов. Чистовые широкие лопаточные резцы (рис.2.12,г) применяются для чистовой обработки плоскостей с большой подачей. Для обеспечения плавного врезания и выхода инструмента целесообразно применять строгальные резцы с углом наклона режущей кромки λ , который в зависимости от условий обработки может колебаться от 10 до 60°.

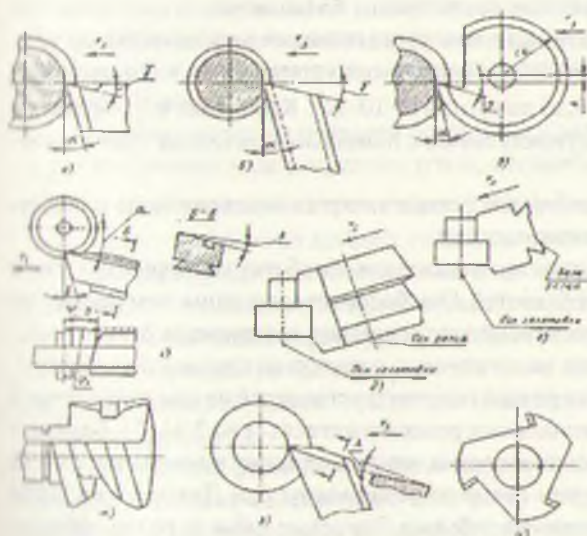
Строгальные резцы бывают прямые и изогнутые. Прямые резцы просты в изготовлении, но менее виброустойчивы по сравнению с изогнутыми. Поэтому они применяются при малых величинах вылета. В случае работы с большими вылетами рекомендуется использовать изогнутые резцы, которые получили широкое распространение в машиностроении. В процессе строгания резец под воздействием усилий резания изгибается. При изгибе прямого резца его режущая кромка углубляется в материал заготовки и резец работает с заеданием, что снижает качество обработки и дополнительно нагружает резец. При изгибе же изогнутого резца его режущая часть будет отходить от заготовки и срезать меньший слой металла. Это обеспечивает более спокойное протекание процесса, особенно при резких колебаниях усилий резания, вызываемых изменениями сечения срезаемого слоя, локальными изменениями свойств обрабатываемого материала и т.п.

Долбежные резцы применяют при обработке внутренних лунейчатых поверхностей на долбежных станках в единичном и мелкосерийном производстве. В зависимости от характера выполняемой работы используют проходной двухсторонний шпоночный или прорезной резцы (рис. 2.13.)

2.8. Фасонные резцы

Фасонные резцы применяют для обработки сложных поверхностей тел вращения. 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 находят применение на токарных, револьверных станках, автоматах и полуавтоматах. Резцы имеют профиль режущей кромки, точно совпадающей с профилем поверхности обрабатываемой детали, и тем самым обеспечивают высокопроизводительную обработку сложнофасонных деталей в массовом и крупносерийном производстве.



Фасонные резцы классифицируют по следующим признакам. По форме: стержневые, (рис. 2.13,а); призматические (рис. 2.13,б); круглые (рис. 2.13,в).

Рис. 2.13. Фасонные резцы

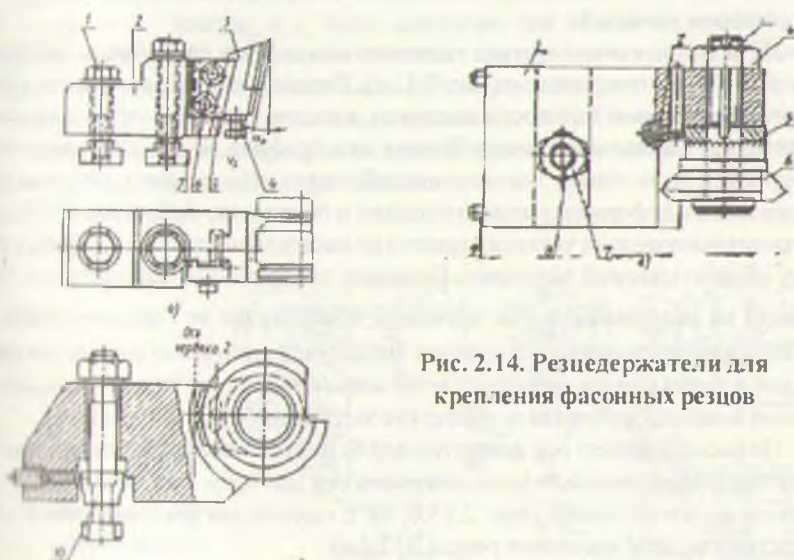


Рис. 2.14. Резцедержатели для крепления фасонных резцов

Стержневые резцы можно устанавливать в резцедержателях универсальных станков. Недостатком их является уменьшение высоты рабочей части после переточки, компенсируемое подкладками. Стержневые фасонные резцы имеют малое число переточек.

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. 2.14, а) под углом $\alpha=10-12^\circ$. Крепление и базирование резца в резцедержателе осуществляется с помощью хвостовика типа ласточкина хвоста.

Недостатком призматических резцов является 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 стачиваются до остаточных по условию прочности величины.

Задние углы у круглых резцов получают установкой их оси выше осевой плоскости заготовки в специальных резцедержателях (рис. 2.14, б). Базирует 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 торцевыми зубьями. Торцевые зубья на резце сопрягаются с торцевыми зубьями рычага, устанавливаемого на одной оси с резцом. Рычаг поворачивают поворотом винта 2, находящегося в зацеплении с зубчатым сектором рычага 5.

По установке относительно заготовки они делятся на: радиальные (рис. 2.13, а, б, в) и тангенциальные (рис. 2.13, г). Вершина радиального резца устанавливается в осевой плоскости заготовки, а подача осуществляется в направлении её оси. Радиальный резец образует весь профиль детали одновременно. В результате на заготовку значительно действуют 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. Тангенциальными резцами можно обрабатывать нежесткие заготовки большой длины.

По расположению оси отверстия или базы крепления резца они устанавливаются: с параллельным расположением оси или базы крепления резца относительно оси заготовки (рис. 2.13, б, в); с наклонным расположением оси отверстия или базы крепления резца (2.13, д, е).

Последние используют для увеличения задних углов по профилю резца при обработке заготовок, имеющих прямолинейные участки, перпендикулярные к её оси. Подача резцов осуществляется в направлении, перпендикулярном к базам установки резца.

По форме образующих фасонных поверхности они бывают: с кольцевы-

ми образующими (рис. 2.13,в); с винтовыми образующими (рис. 2.13,ж). Винтовые образующие позволяют увеличить задние углы резца при обработке с радиальной подачей заготовок, имеющих прямолинейные участки, перпендикулярные к её оси.

По расположению передней поверхности резцы бывают: с положительным (или равным нулю) передним углом; с положительным передним углом и углом λ наклона режущей кромки (рис. 2.13,г). Такие резцы позволяют увеличить точность обработки деталей, имеющих конические участки.

По конструкции резцы делятся на: цельные, составные, например, с припаянными пластинами из твердого сплава (рис. 2.13,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.2.15,а).

Для круглых фасонных резцов смещения 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 которого $r_{\alpha x}$ меньше максимального радиуса резца. На рис. 2.15,а показаны радиальные задний $\alpha_{\alpha x}$ и передний $\gamma_{\gamma x}$ углы для точки x_1 профиля резца с радиусом $r_{\alpha x}$. Углы $\alpha_{\alpha x}$ и $\gamma_{\gamma x}$ будут одинаковы для всех точек профиля резца, имеющих радиус $r_{\alpha x}$. На рисунке показаны три такие точки: x_1, x_2, 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_x). Стойкость резца зависит от значения задних и передних углов в сечении, перпендикулярном проекции режущей кромки на основную плоскость.

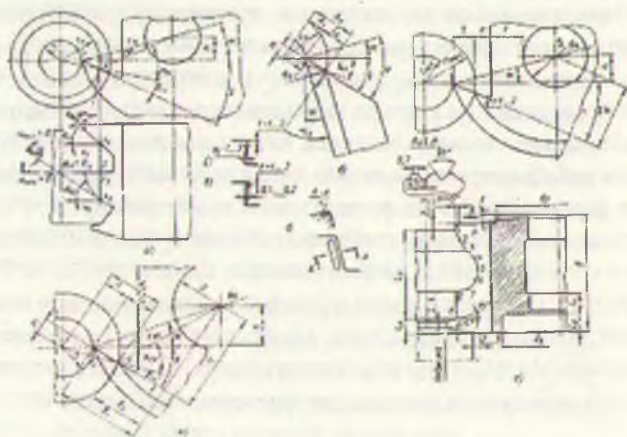


Рис. 2.15.
Геометрические
параметры и
конструктивные
элементы
фасонного резца

Углы в нормальных сечениях рассчитывают по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{HX}} = \operatorname{tg} \alpha_{\text{IX}} \sin \varphi_x; \operatorname{tg} \gamma_{\text{HX}} = \operatorname{tg} \gamma_{\text{IX}} \sin \varphi_x$$

Для точек x_1 и x_2 углы в плане φ_{x1} и φ_{x2} больше нуля, поэтому передние и задние углы γ_{HX} и α_{HX} будут положительными, а для x_3 , в которой угол $\varphi = 0$, они равны нулю. На участке 1 – 2 профиля резца будет происходить интенсивное изнашивание, так как на нем нормальные задний и передний углы равны нулю. Для резца, ось которого параллельна оси заготовки, увеличивать задние углы на участке профиля 1 – 2 нельзя, поэтому режущая кромка для уменьшения трения задней поверхности об обработанную поверхность оформляется так, как показано на рис. 2.15,б,в. Передний угол γ_{H} на участке профиля с малыми значениями угла φ можно увеличить заточкой лунки вдоль режущей кромки (рис. 2.15,в,г).

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. 2.15,д приведена схема определения величины радиальных переднего γ_{HX} и заднего α_{HX} углов для произвольной точки x профиля x призматического резца.

Круглые фасонные резцы

Проектирование круглых фасонных резцов состоит из двух этапов: а) назначения и расчет геометрических и конструктивных параметров, б) профилирования резца, т.е. определение его профиля в осевом сечении.

Конструктивные параметры круглого фасонного резца с его односторонним креплением на оси показаны на рис. 2.15, е. Одностороннее крепление применяют для резцов шириной B до 30 мм. При ширине резца более 30 мм применяют двухстороннее крепление, при котором ось для установки резца имеет две опоры. Для резцов с двухсторонним креплением не делают выточку диаметром d_1 и длиной l_1 , в которой размещается головка оси. Слева от последней точки профиля детали на резце делают подрезку, определяющую положение точки 9, последней точки профиля детали, 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_{H} 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 торцевыми зубьями, число которых $z=32-34$. Для того чтобы вершины зубьев были одинаковой ширины, их фрезеруют под углом μ ;

$$\operatorname{tg} \mu = \pi / z, \text{ где } z - \text{число торцевых зубьев.}$$

При проектировании фасонных резцов задний угол на вершине зуба выбирают в пределах $10 - 12^\circ$. Передний угол γ выбирают в зависимости от свойств материала заготовки: от нуля при обработке чугуна и бронзы до $25 - 30^\circ$ при обработке меди и алюминия. Диаметр посадочного отверстия $D=0,6 L_{\text{д}}$. $P_z^{0,18}$ — для резцов одностороннего крепления и $D=0,78 L_{\text{д}}^{0,33} P_z^{0,25}$ — для резцов двустороннего крепления, где $L_{\text{д}}$ — длина детали, мм; P_z — главная составляющая силы резания, Н; $P_z = P_{\text{зад}} L_{\text{д}}$, здесь $P_{\text{зад}}$ — сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки резца; l — проекция длины режущей кромки на ось резца. Рассчитанные по формулам диаметр посадочного отверстия округляют до стандартного значения.

Наружный диаметр резца:

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

где $f=0,4D$ — толщина станки резца, мм; $e=3-8$ мм — пространство для отвода стружки; $t=(r_{\text{зад}} - r_{\text{зад}})$ — глубина профиля резца, мм; $r_{\text{зад}}$ и $r_{\text{зад}}$ — соответственно максимальный и минимальный радиусы детали. Расчетные значения $d_{\text{н}}$ округляют до целого, кратного пяти. Диаметр буртика с торцевыми зубьями $d_{\text{б}}=(1,5-1,7) D$. Диаметр выточки под головку оси $d_{\text{в}}=1,4 D + 1$, а её длина $l_{\text{в}}=5-8$ мм. Длина шлифованной части отверстия $l=0,25 (B - l_{\text{в}})$; $B=(L_{\text{д}} + l_{\text{в}} + 6-8)$, где B — ширина резца; $l_{\text{в}}$ — ширина подрезки.

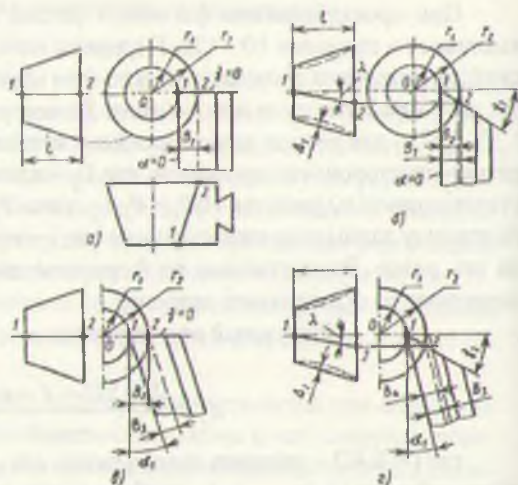
На чертеже резца обязательно указывают расстояние $H=r_z \sin(\alpha+\gamma)$ от плоскости передней поверхности до оси резца, которое нужно выдерживать при переточках резца, так как это обеспечивает сохранение его профиля.

Причина искажения профиля фасонного резца

Профиль фасонного резца определяется в сечении, нормальном к его торцевой поверхности. В этом сечении рассчитывают размеры профиля и осуществляют его контроль. Однако формообразующей поверхностью детали является режущая кромка. Профиль резца в нормальном сечении не совпадает с линией режущей кромки. В свою очередь, линия режущей кромки резца может отличаться от профиля обработанной детали в её осевом сечении. Следовательно, профиль фасонного резца отличается от профиля обработанной детали. Причиной этого несоответствия является наличие у резца переднего и заднего углов. Для уяснения этого вопроса рассмотрим рис. 2.16.

Возьмем один участок детали в виде усеченного конуса. В первом случае (рис. 2.16,а), когда передний и задний углы резца равны нулю, высота профиля резца B , равна разности радиусов обработанных деталей, т.е. $B=r_2 - r_1$. Профиль резца соответствует режущей кромке и профилю детали. Но это не идеальный случай, т.е. резец не может иметь нулевой задний угол.

Рис. 2.16. Влияние углов γ и α на высоту профиля резца



Во втором случае (рис. 2.16,б) у резца передний угол $\gamma_1 > 0$, а задний угол $\alpha_1 = 0$. При этом высота профиля резца $B_2 < (r_2 - r_1)$, т.е. меньше B_1 . Отсюда следует, что если угол $\gamma_1 \neq 0$ профиль резца будет отличаться от профиля режущей кромки, а значит и от профиля обрабатываемой детали.

В третьем случае (рис. 2.16,в) угол $\gamma = 0$, а угол $\alpha > 0$. Здесь также высота профиля резца меньше высоты профиля детали, т.е. $B_3 < (r_3 - r_1)$; $B = B_1 \cos \alpha_1$. Следовательно, задний угол также создает отклонения профиля резца от профиля детали. Наконец, последний случай (рис. 2.16,г) соответствует реальным условиям, когда у резца $\alpha > 0$ и $\gamma > 0$. В этом случае $B_4 < B_3$ и $B_4 < B_2$. Таким образом, совместное влияние переднего γ и заднего α углов увеличивает отклонение профиля резца от профиля режущей кромки и от профиля детали.

Будем считать передние и задние углы основными причинами, которые вызывают указанное отклонения. Это отклонение не создает погрешность, оно является необходимым, преднамеренным. Вследствие этого профиль фасонного резца должен быть определен расчетным путем. Только при таком определенном отличии профиля резца от профиля детали, которое устанавливается расчетным путем, заданная деталь будет обработана точно.

Профилирование фасонных резцов

Существуют графический и аналитический методы определения профиля фасонных резцов. Графический метод наглядный, но неточный, поэтому в инженерной практике не применяется. Аналитический метод лишен этого недостатка, но более сложный. Несмотря на это, высокие требования и точности проектирования фасонных резцов обусловили применение на практике анали-

тического метода. Существует несколько способов расчета профиля фасонных резцов. Рассмотрим общий способ точного аналитического решения задачи профилирования резцов, а также один из способов, основанный на решении трехчленных уравнений, который является также точным, но простым и наглядным.

Решение задачи сводится к тому, чтобы определить необходимый профиль резца в нормальном сечении к его задней поверхности, при котором режущие кромки резца могли бы правильно обработать заданную деталь. Исходными параметрами для расчета являются размеры обрабатываемой детали, заданные чертежом, и свойства обрабатываемого материала.

Фасонные резцы можно устанавливать по высоте центров обрабатываемой детали (по центру) одной вершинной точкой или же линией – режущей кромкой. В последнем случае это может быть только для цилиндрического или конического участка детали. Для поверхности криволинейного профиля или торцевых этого достигнуть невозможно. На практике чаще применяются резцы первого вида, устанавливаемые по центральной линии детали одной точкой, расположенной в вершине режущей кромки. Для обработки наружных поверхностей тел вращения эта точка контакта находится на наименьшем диаметре обрабатываемой детали, для обработки внутренней поверхности – на наибольшем диаметре отверстия.

Для определения профиля фасонного резца общим аналитическим способом необходимо найти режущую кромку как линию пересечения поверхности детали с плоскостью передней грани резца, принять её за образующую поверхности резца и определить линию сечения резца плоскостью, нормальной к задней поверхности инструмента. Для этого необходимо решить следующие задачи.

1. Уравнение поверхности заданной детали в системе XYZ (рис. 2.17)

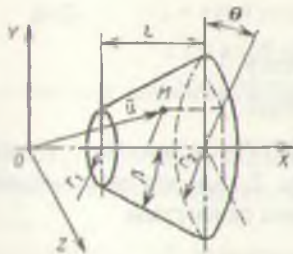


Рис. 2.17. К определению уравнения конической поверхности детали

для участка детали в виде усеченного конуса имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= y \cos \beta \\ y &= y \sin \beta \cos \theta \\ z &= y \sin \beta \sin \theta \end{aligned} \quad (2.1)$$

Здесь параметры γ и θ изменяются в диапазонах $\gamma[r_1/\sin\beta, r_2/\sin\beta]$; $\theta[0, 2\pi]$, где r_1 и r_2 – наименьший и наибольший радиусы детали; β – угол наклона образующей конуса. Если учесть, что из первого уравнения системы (2.1) $\gamma = x / \cos\beta$, то эту систему уравнения можно записать:

$$y = x \operatorname{tg}\beta \cos\theta \quad (2.2)$$

$$z = x \operatorname{tg}\beta \sin\theta$$

В уравнении (2.2) абсциссой X задаются.

2. Уравнения плоскости 1 – 2 передней поверхности резца в системе координат XYZ имеет вид (рис.2.18)

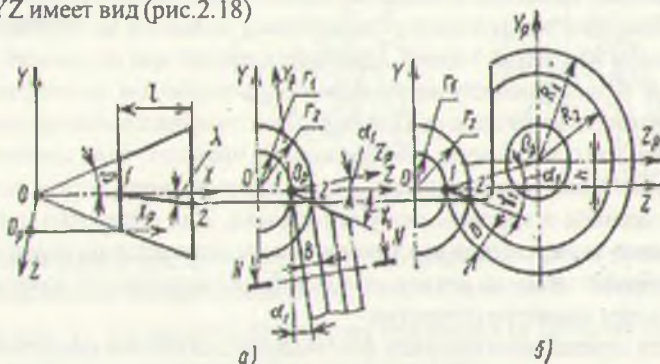


Рис. 2.18. Схема для аналитического профилирования фасонного резца: а – призматического; б) круглого

$$y = r_1 \operatorname{tg}\gamma_1 - z_1 \operatorname{tg}\gamma_1 \quad (2.3)$$

где γ_1 – передний угол резца в расчетной точке 1.

3. Решив совместно уравнения (2.2) и (2.3), получим уравнения линии режущей кромки резца в системе координат детали XYZ

$$\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg}\beta \cos\theta \\ z &= x \operatorname{tg}\beta \sin\theta \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\theta = \arccos \left(\frac{r_1 \sin \gamma_1}{x \operatorname{tg} \beta} \right) + \gamma_1$$

4. Преобразуем систему координат XYZ в систему $X_p Y_p Z_p$, связанную с резцом. Для призматического резца (рис. 2.18,а) эта связь координат точек режущей кромки определяется матричным равенством

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

где M – матрица перехода из системы XYZ в систему $X_p Y_p Z_p$.

В соответствии с рис. 2.18,а матрица

$$M = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_1 & -\sin \alpha_1 & r_1 \sin \alpha_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & -r_1 \cos \alpha_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.6)$$

Тогда формулы перехода из системы XYZ в систему $X_p Y_p Z_p$ примут вид

$$\begin{aligned} x_p &= x; \\ y_p &= y \cos \alpha_1 - z \sin \alpha_1 + r_1 \sin \alpha_1; \\ z_p &= y \sin \alpha_1 + z \cos \alpha_1 - r_1 \cos \alpha_1; \end{aligned} \quad (2.7)$$

где α_1 — задний угол резца в точке 1.

5. Подставив в уравнения (2.7) формулы для координат y, z из уравнений (2.4), получим координаты точек, т.е. уравнения режущей кромки призматического резца в системе $X_p Y_p Z_p$:

$$\begin{aligned} x_p &= x \\ y_p &= x \operatorname{tg} \beta \cos(\theta + \alpha_1) + r_1 \sin \alpha_1; \\ z_p &= x \operatorname{tg} \beta \sin(\theta + \alpha_1) - r_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Введем неподвижную систему координат X'_p, Y'_p, Z'_p , совпадающую вначале с системой X_p, Y_p, Z_p , которую принимаем за подвижную. Для образования задний поверхности резца сообщим подвижной системе координат, а вместе с ней и режущей кромке движение вдоль оси Y'_p . Тогда уравнение этой поверхности запишется в виде:

$$\begin{aligned} x'_p &= x \\ y'_p &= x \operatorname{tg} \beta \cos(\theta + \alpha_1) + r_1 \sin \alpha_1 \pm H \\ z'_p &= x \operatorname{tg} \beta \sin(\theta + \alpha_1) - r_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

где H — текущее значение параметра, формообразующего заднюю поверхность.

Плоскость, нормальная к задней поверхности резца, есть координатная плоскость $X'_p Z'_p$ или любая другая, параллельная ей, уравнение которой $y'_p = H$ или $y'_p = -H$.

6. Если принять $y'_p = 0$, то искомого профиль призматического фасонного резца в сечении нормальной плоскостью запишется уравнением

$$\begin{aligned} x_p &= x \\ z'_p &= x \operatorname{tg} \beta \sin(\theta + \alpha_1) - r_1 \cos \alpha_1; \\ \theta &= \arccos \left(\frac{r_1 \sin \gamma_1}{x \operatorname{tg} \beta} \right) + \gamma_1 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Анализ уравнения (2.10) показывает, что профиль резца получается криволинейным (вогнутым). Если режущую кромку совместить с образующей конуса так, чтобы $\lambda = 0$, то она будет прямолинейной. В этом случае профиль призматического резца будет тоже прямолинейным. Для образования круглого резца найденной режущей кромке необходимо сообщить круговое движение относительно оси резца X_p . Задача по отысканию профиля круглого фасонного резца в нормальном (осевом или радиальном) сечении сводится к определении расстояния точек режущей кромки, описываемой уравнением (2.4), до оси круглого резца.

Положения оси резца задается координатами y_p и z_p (рис. 2.18,б), которые определяются через исходные постоянные величины r_1 , R_1 и α_1 :

$$\begin{aligned} y_p &= R_1 \sin \alpha_1 \\ z_p &= r_1 + R_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Ось круглого резца в системе координат $X_p Y_p Z_p$ проще задать единичным вектором i с направляющими коэффициентами:

$$i_x = 1; i_y = 0; i_z = 0, \quad (2.12)$$

который проходит через точку центра резца с координатами x_p, y_p, z_p .

Расстояние R от точки режущей кромки с координатами x, y, z до прямой i (i_x, i_y, i_z), заданной единичным вектором (2.12) и проходящей через ось X_p резца, определяется по формуле:

$$R^2 = \frac{[(x-x_p)i_y - (y-y_p)i_x]^2 + [(y-y_p)i_z - (z-z_p)i_y]^2 + [(z-z_p)i_x - (x-x_p)i_z]^2}{i_x^2 + i_y^2 + i_z^2} \quad (2.13)$$

Подставив в формулу (2.13) значения x, y, z из уравнения (2.4) и учитывая коэффициенты i_x, i_y, i_z и координаты точки O_p (O, y_p, z_p), получим уравнение для определения искомого радиуса резца:

$$R = \sqrt{(x \operatorname{tg} \beta \sin \theta - r_1 - R_1 \cos \alpha_1)^2 - (x \operatorname{tg} \beta \cos \theta - R_1 \sin \alpha_1)^2}, \quad (2.14)$$

где угол θ находится из совместного решения уравнений (2.2) и (2.3):

$$\theta = \arccos \cdot (r_1 \cdot \sin \gamma_1 / x \cdot \operatorname{tg} \beta) + \gamma_1 \quad (2.15)$$

Зная разность радиусов $R_1 - R$ резца и его осевые размеры, находим профиль инструмента. Высота профиля $B = R_1 - R$. Для точного определения профиля резца в уравнении (2.14) необходимо задаться рядом значений текущих осевых размеров x детали и для каждого из них найти радиус R . Обычные вычисления окажутся слишком трудоемкими, поэтому данную задачу целесообразно решить на ЭВМ, используя формальные языки программирования. На рис. 2.19. приведена схема расчета профиля круглого фасонного резца.

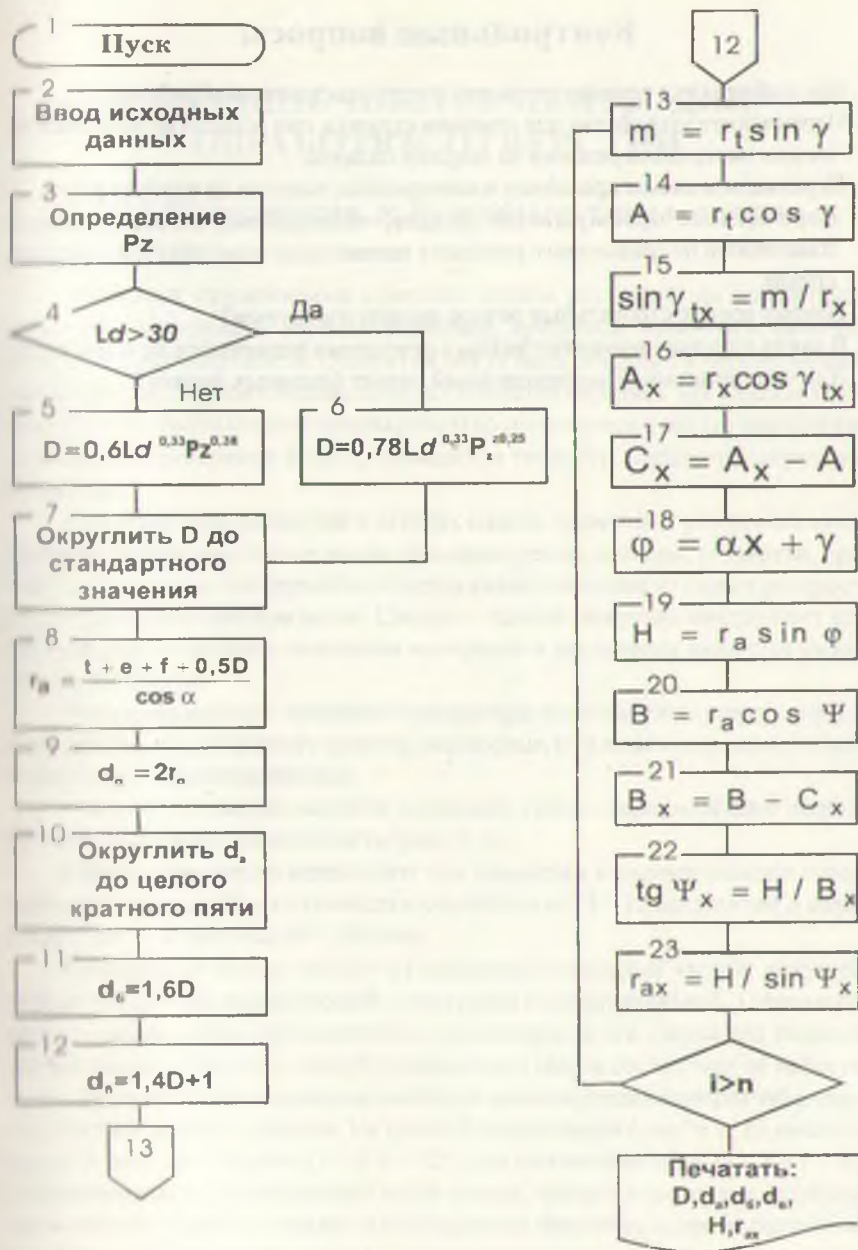


Рис.2.19. Алгоритм расчёта на ЭВМ круглого фасонного резца

Контрольные вопросы

1. Как выбираются сечения резца для созданных условий обработки?
2. Перечислите устройства для ломания стружки при обработке заготовок из вязких материалов резцами из твердых сплавов.
3. Перечислите схемы крепления многогранных пластин на корпусе резца.
4. Перечислите преимущества резцов, оснащенных многогранными пластинами по сравнению с резцами с напаянными пластинами из твердого сплава.
5. Почему корпус строгальных резцов делают изогнутым?
6. В каких случаях применяют резцы с режущими элементами из композита?
7. Для чего производят коррекционный расчет фасонных резцов?

Глава 3

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

3.1. Назначение и основные типы сверл

Отверстия, применяемые в деталях машин, различают по форме поперечного и продольного сечения, размерам, требуемой точности и качеству 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 диаметра, изменения формы, повышения точности, параметра шероховатости и др.

Для обработки отверстий в деталях машин применяют различные инструменты: сверла, расточные резцы, фасонные резцы, зенкеры, развертки, протяжки, абразивные инструменты. Сверла являются одним из самых распространенных видов инструментов. Сверло — осевой режущий инструмент для образования отверстия в сплошном материале и увеличения диаметра имеющегося отверстия.

В промышленности применяют следующие основные типы сверл: спиральные, перовые, одностороннего резания, эжекторные, кольцевого сверления, а также специальные комбинированные.

Спиральное сверло является основным типом сверл, наиболее широко применяемым в промышленности (рис. 3.1.).

Спиральное сверло используют при сверлении и рассверливании отверстий диаметром до 80 мм с точностью обработки по 11–12 квалитетам и шероховатостью R_a в пределах 40–160 мкм.

Спиральные сверла состоят из следующих основных частей: режущей, направляющей или калибрующей, хвостовика и соединительной. Главные режущие кромки сверла прямолинейны и наклонены к оси сверла под главным углом φ (рис. 3.1., а). Режущая и калибрующая части сверла составляют её рабочую часть, на которой образованы две винтовые канавки, создающие два зуба, обеспечивающие процесс резания. На рабочей части сверла (рис. 3.1., б) имеются шесть лезвий: 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).

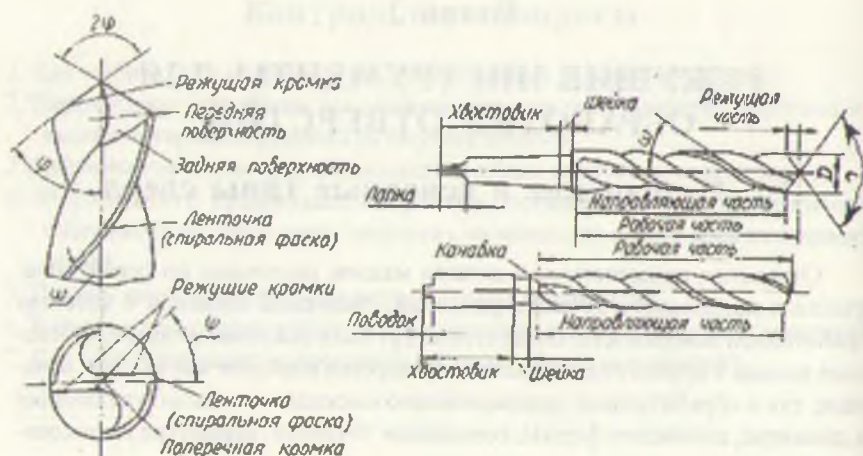
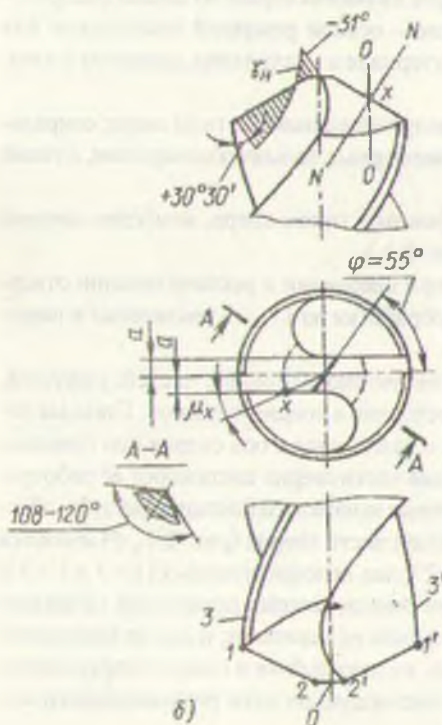


Рис.3.1. Элементы спирального сверла



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.

Хвостовик служит для закрепления сверла на станке. Он с помощью цилиндрической шейки соединяется с рабочей частью сверла. Наиболее часто рабочую часть сверла изготавливают из быстрорежущей стали, а хвостовик из стали 45, 40Х. Рабочую часть и хвостовик соединяют сваркой. В промышленности используются также твердосплавные сверла. Режущую часть этих сверл оснащают пластинками твердого сплава либо твердосплавными коронками. У твердосплавных сверл малого диаметра вся рабочая часть может изготавливаться из твердого сплава.

Конструктивные элементы спиральных сверл.

Зуб сверла представляет собой тело, ограниченное передней и задней поверхностью.

У спиральных сверл передняя поверхность, по которой сходит стружка при обработке, является винтовой поверхностью канавки.

Углом наклона винтовой канавки ω называют угол, образуемый осью сверла и касательной к винтовой линии пересечения передней поверхности сверла с цилиндрической поверхностью, ось которой совпадает с осью сверла и диаметр которой равен диаметру сверла.

Поверхность зуба сверла, обращенная к поверхности резания (поверхности, по которой происходит отделение стружки от заготовки), называется задней поверхностью. Задние поверхности воспроизводят при заточке сверл, а их формы определяют принятым методом заточки. Задние поверхности на спиральных сверлах наиболее часто затачивают по коническим, винтовым и плоским поверхностям. Линии пересечения передних и задних поверхностей сверла образуют режущую кромку. У обычных спиральных сверл прямолинейные режущие кромки и ось сверла являются скрещивающимися прямыми. Расстояние от оси сверла до режущей кромки равно половине диаметра сердечника сверла. Угол 2ϕ между режущими кромками, которые располагаются симметрично относительно оси сверла, называют углом при вершине.

Линия пересечения задних поверхностей обоих зубьев сверла образует поперечную режущую кромку.

Угол наклона поперечной кромки ψ находится между проекциями поперечной кромки и режущей кромки на плоскость, перпендикулярную к оси сверла.

Задний угол α между задней поверхностью и поверхностью резания изменяется у сверл обычно в цилиндрическом сечении, концентричном оси сверла.

Угол при вершине сверла 2φ играет роль главного угла в плане. С увеличением угла при вершине сверла уменьшается активная длина режущей кромки и увеличивается толщина среза, что приводит к увеличению усилий, действующих на единицу режущих кромок, и способствует повышению интенсивности износа сверла.

Однако, при увеличении угла 2φ площадь сечения среза будет неизменной, а степень деформации срезаемого слоя уменьшится. При этом, падает величина суммарной составляющей главного усилия резания, действующего по направлению скорости резания и определяющего величину крутящего момента, что благоприятно воздействует на работу такого нежесткого инструмента, как спиральное сверло. Суммарное же осевое усилие подачи сверла при увеличении угла 2φ возрастает. Это объясняется изменением положения относительно оси сверла плоскости, нормальной к режущей кромке, в результате чего меньшая часть усилий, действующих на режущие кромки сверла, взаимно уравниваются. Кроме того, передние углы на поперечной кромке с увеличением угла при вершине уменьшаются. Это ухудшает внедрение этой кромки в материал заготовки и приводит к возрастанию осевых усилий при сверлении. В результате возрастает опасность появления продольного изгиба сверла и значительных его деформаций. Опыт показывает, что при уменьшении угла 2φ от 140° до 90° осевое усилие подачи снижается на 40 – 50%, а крутящий момент увеличивается на 25 – 30%.

С увеличением угла 2φ уменьшается угол между режущей кромкой и кромкой ленточки, что приводит к ухудшению теплоотвода от наиболее интенсивно изнашивающейся периферийной зоны сверла.

Угол при вершине 2φ спирального сверла влияет на величины передних углов и на изменение их на режущей части, а также на направление и условия отвода стружки по винтовым канавкам. Известно, что нормальная работа сверла может иметь место тогда, когда надежно обеспечивается вывод стружки по канавкам и не наблюдается ее защемление и пакетирование.

Исследования показывают, что увеличение угла 2φ приводит к более плавному изменению передних углов вдоль режущей кромки, благоприятно отражающемуся на режущей способности сверла.

Таким образом, угол при вершине сверла 2φ весьма противоречиво воздействует на процесс резания и его оптимальное значение зависит от многих факторов, предопределяющих характер работы сверла.

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

Таблица 3.1.

Материал обрабатываемой заготовки	Угол 2φ , °
Сталь конструкционная и инструментальная	116 - 120
Сталь коррозионностойкая, 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:

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{\tau_x}{\tau} \operatorname{tg} \omega$$

где ω_x – угол наклона винтовой канавки в данном сечении; τ_x – радиус, на котором определяют угол наклона винтовой канавки; τ – наружный радиус сверла; ω – угол наклона винтовой канавки на наружном диаметре.

Как видно, угол наклона винтовых линий, расположенных на передней поверхности канавки сверла, уменьшается при приближении к оси сверла. Величины углов ω для различных точек режущих кромок сверла при изменении угла наклона винтовой канавки от 15 до 60° приведены в таблице 3.2.

Как видно, изменение угла наклона винтовой канавки ω сильно влияет на величины углов ω_x на периферии.

Угол наклона винтовой канавки предопределяет величины передних углов на режущей части, особенно на периферии сверла. С увеличением угла ω передний угол в исследуемой точке кромки также возрастает. Это приводит к

Таблица 3.2.

τ_x/t	ω°			
	15	30	45	60
1	15°	30°	45°	60°
0,8	12°1/	24°50/	38°30/	54°
0,6	9°10/	19°66/	30°50/	46°
0,4	6°10/	13°	21°45/	34°40/
0,2	3°4/	6°35/	11°15/	19°

уменьшению усилий резания, способствует лучшему отводу стружки.

Однако, у сверл с большим углом наклона ω винтовой канавки снижается жесткость и чрезмерно ослабляется режущая часть, что приводит к понижению стойкости. Поэтому существует оптимальное значение угла ω , обеспечивающее наибольшую стойкость, необходимые передние углы, хороший отвод стружки и жесткость сверла. Оптимальное значение угла ω зависит, главным образом от рода обрабатываемого материала и материала инструмента. Для сверл из быстрорежущей стали при обработке латуни, мягкой бронзы, мрамора $\omega = 10^\circ - 17^\circ$, стали и чугуна $\omega = 24 - 36^\circ$, легких сплавов $\omega = 35 - 40^\circ$. Для нормализованных сверл универсального назначения угол ω колеблется от 19° для сверл диаметром 0,25 – 1,0 мм до 33° для сверл диаметром 44,5 – 80 мм.

Задний угол α является важным элементом конструкции сверла. Величина его в значительной мере влияет на стойкость инструмента. У сверл малых размеров величина заднего угла на периферии может назначаться до 20° . У сверл средних размеров универсального назначения рекомендуются величины задних углов в пределах $10 - 15^\circ$. При обработке особо твердых материалов высокой прочности величины задних углов снижаются до $7 - 10^\circ$, а при обработке легких сплавов - увеличиваются до 20° .

В случае недостаточной жесткости системы СПИД и появлении вибрации приходится уменьшать задние углы до $3 - 5^\circ$.

Улучшение геометрических параметров спиральных 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 режу-

шей 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. 3.2.а).

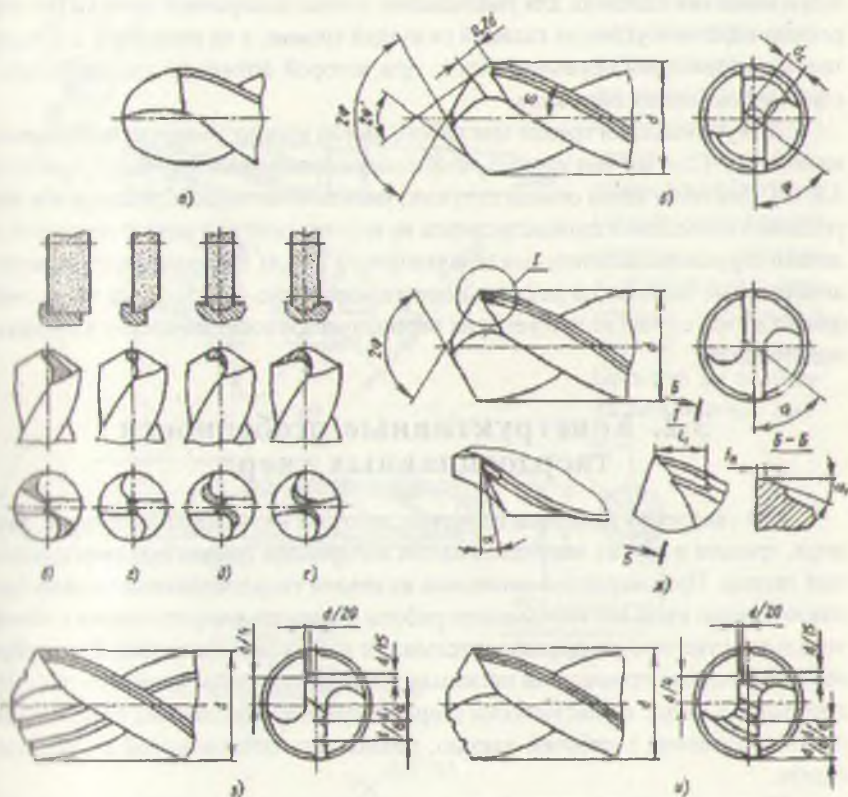


Рис. 3.2. Методы улучшения геометрических параметров рабочей части сверла.

Ввиду сложности заточки таких сверл иногда заменяют криволинейную кромку ломаной, состоящей из двух участков с углом при вершине $116 - 120^\circ$, и дополнительной режущей кромкой на периферии под углом $2\varphi = 70 - 75^\circ$, на участке длиной $0,2$ диаметра сверла (рис. 3.2, б).

Условия резания на поперечной режущей кромке улучшаются её подточкой, которая в ряде случаев совмещается с подточкой передней поверхно-

сти. На рисунке 3.2, в, г, д, е-приведены основные формы подточки. Подточка, показанная на рисунке 3.2, 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 трудоемкость и снижение прочности режущей кромки. Эти недостатки снижаются при использовании для подточки фасонного круга (рис. 3.2, г). При подточке указанными способами длина поперечной кромки не изменяется. На рисунке 3.2, д показана подточка для уменьшения длины поперечной кромки без коррекции передних углов на главной режущей кромке, а на рисунке 3.2, е – подточка с коррекцией передних углов, при которой возможно также создание стружколомающих порошков.

Для уменьшения трения при работе сверла кромку ленточки подтачивают на длину $l = 1,5-4$ мм под углом $\alpha = 6-8^\circ$ с сохранением фаски $f_n = 0,1-0,3$ мм (Рис. 3.2, ж). Для облегчения отвода стружки, уменьшения теплообразования в зоне резания и повышения стойкости сверла на его передней или задней поверхности делают стружкоразделительные канавки (рис. 3.2, з, и). Выполнение стружкоразделительных канавок по передней поверхности (рис. 3.2, з) более трудоемко, однако в этом случае не требуется их периодическое восстановление в процессе эксплуатации.

3.2. Конструктивные особенности твердосплавных сверл

Для сверления заготовок из чугуна, цветных металлов, пластмассы, мрамора, гранита и других неметаллических материалов применяют твердосплавные сверла. При сверлении заготовок из сталей твердосплавные сверла применяют редко из-за нестабильности работы (поломки, выкрашивания и незначительного увеличения производительности при их эксплуатации). В промышленности находят применение несколько конструктивных разновидностей твердосплавных сверл: с пластинками твердого сплава, оснащенные твердосплавными коронками; с рабочей частью, полностью изготовленной из твердого сплава.

Сверло с твердосплавной пластиной представляет собой стальной корпус с впаянной в гнездо на переднем торце пластиной твердого сплава, образующий режущую часть (рис. 3.3, а).

Угол при вершине 2ϕ , задние углы на режущей части твердосплавного сверла берутся такими же, как и у сверла из быстрорежущей стали. Переднюю поверхность на длине пластины твердого сплава выполняют плоской с углом наклона $6-8^\circ$, которая плавно переходит в винтовую поверхность стружечной канавки на корпусе сверла. Угол наклона винтовой канавки рекомендуется выбирать равным 20° . Для сверл, обрабатывающих сравнительно глубокие

отверстия более $(3 - 4)D$, целесообразно увеличивать угол наклона винтовых канавок до $45 - 60^\circ$.

Обратную конусность на твердосплавных сверлах делают только на длине пластины твердого сплава, благодаря чему на режущей части создается вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 25^\circ - 30^\circ$. Корпус делают цилиндрическим с диаметром, уменьшенным на $0,2 - 0,3$ мм по сравнению с диаметром сверла,

измеренным в конце пластины. Уменьшение диаметра обеспечивает зазор между поверхностями отверстия и корпуса сверла, что необходимо для предотвращения приварения сверла к детали, вследствие сильного трения корпуса о стенки отверстия. Большая же величина занижения диа-

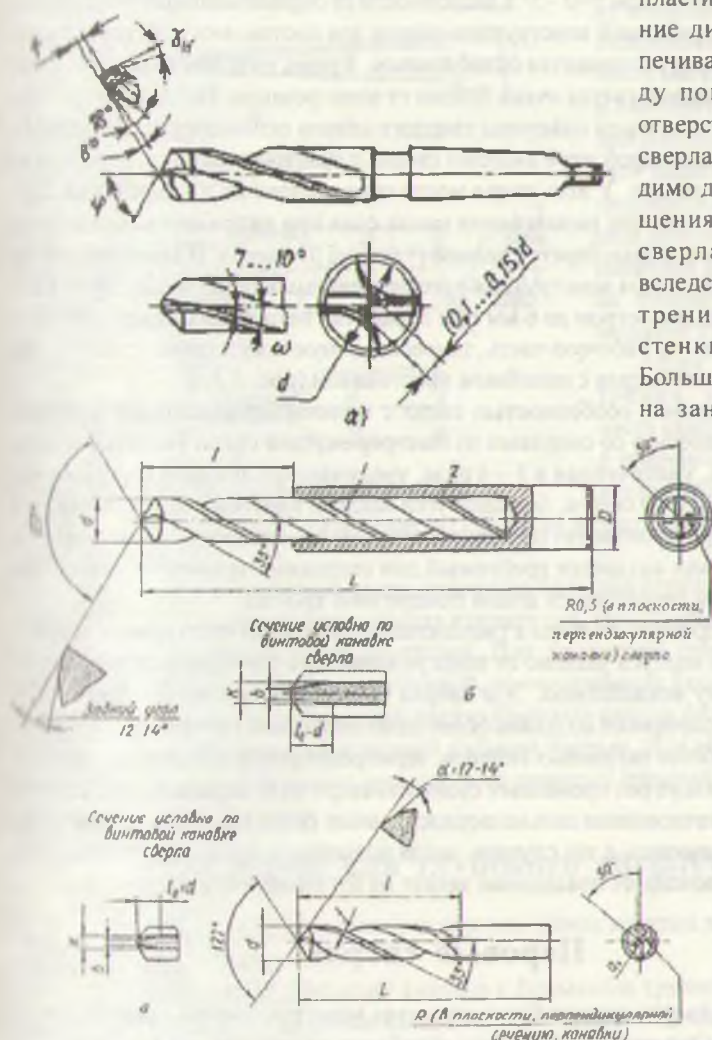


Рис. 3.3. Сверла твердосплавные

метра может вызвать заклинивание стружки между корпусом сверла и поверхностью отверстия.

Для уменьшения осевого усилия и улучшения геометрических параметров на режущей части твердосплавного сверла, имеющего относительно большой диаметр сердцевины, должны быть снабжены подточкой поперечной кромки с доведением ее длины до размеров $0,1 - 0,15$ диаметра сверла. Подточку перемычки производят одновременно с заточкой фаски на передней поверхности, под передним углом $\gamma = 0 - 5^\circ$ в зависимости от обрабатываемого материала.

У рассматриваемой конструкции сверла для постановки пластины вырезается паз, и корпус становится ослабленным. Кроме того, место спая пластины и корпуса располагается очень близко от зоны резания. Наблюдаются случаи, когда при сверлении пластины твердого сплава отпаиваются. Указанных недостатков в некоторой мере лишены сверла с припаянными встык коронками из твердого сплава. У этих сверл место спая удалено из зоны резания. Поэтому они работают без размягчения места спая при напряженных режимах резания. Длина коронки берется равной $(1,0 - 1,5)D$ сверла. В зависимости от назначения и диаметра конструкция рассматриваемых сверл может быть различной. Сверла диаметром до 6 мм при обработки неглубоких отверстий имеют твердосплавную рабочую часть, запрессованную в хвостовик (рис. 3.3, б). Применяют также сверла с напаянным хвостовиком (рис. 3.3, в).

Отличительной особенностью сверл с цельнотвердосплавной рабочей частью по сравнению со сверлами из быстрорежущей стали является обратная конусность, увеличенная в 3 – 4 раза, увеличенный диаметр сердцевины, равный $(0,25 - 0,35)D$ сверла, больший угол наклона винтовых канавок, равный 35° . У этих сверл производят подточку передней поверхности, за счет чего на режущих кромках создается требуемый для сверления заданного материала передний угол и сокращается длина поперечной кромки.

У рассматриваемых сверл с твердосплавной рабочей частью место соединения сплава и корпуса удалено от зоны резания и не подвергается заметному температурному воздействию. Эти сверла имеют повышенную прочность и жесткость, обеспечивают создание более целесообразной геометрии и их стойкость при обработке титановых сплавов, термореактивных пластмасс, закаленных сталей во много раз превышает стойкость сверл из быстрорежущих сталей.

Однако, изготовление цельнотвердосплавных сверл весьма трудоемко и их необходимо применять в тех случаях, когда повышение производительности и стойкости компенсирует повышение затрат на изготовление инструмента.

Перовые сверла

Перовые сверла имеют более простую конструкцию по сравнению со спиральными. Они применяются при обработке ступенчатых и фасонных отверстий (рис. 3.4).

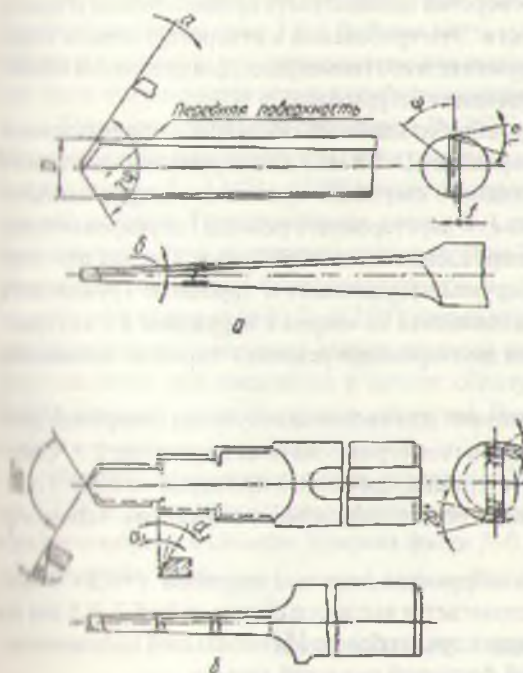


Рис. 3.4. Перовые сверла

ной задний угол $\alpha_1 = 5 - 8^\circ$ и утонение по диаметру в пределах $0,05 - 0,1$ мм на всю длину сверла.

К недостаткам перовых сверл относятся большие отрицательные передние углы, плохое направление сверла в отверстие, затруднительные условия отвода стружки, малое число переточек. Для улучшения процесса резания передняя поверхность снабжается лункой, но это приводит к соответствующему снижению прочности режущей части. Перовые сверла больших диаметров обычно изготавливают со вставной рабочей частью. Для облегчения процесса резания у сверл больших диаметров на режущих кромках делают стружкоотделительные канавки.

3.3. Сверла для глубокого сверления

Многие детали машин имеют отверстия, длина которых превышает диаметр сверла в $5 - 10$ раз.

Сверление таких отверстий связано с большими трудностями, так как инструмент получается длинным и маложестким, образующаяся стружка плохо удаляется из канала, значительно сложнее подавать СОЖ в зону резания. Все это снижает режущие свойства инструмента и производительность процесса.

Режущую часть этих сверл выполняют в виде пластин из быстрорежущей стали или оснащают пластинами из твердого сплава. Режущая часть имеет две режущие кромки, угол между которыми 2ϕ принимается равным 90° при обработке мягких материалов и 140° при обработке твердых материалов. В результате пересечения задних плоскостей обеих режущих кромок создается поперечная режущая кромка. Угол её наклона обычно равен $55 - 60^\circ$.

Для уменьшения трения калибрующая часть сверла имеет фаску f шириной $0,2 - 0,5$ мм, вспомогательный боко-

В то же время обработанные отверстия должны быть прямолинейны и иметь малые параметры шероховатости. Эти требования к отверстию детали обуславливают конструкцию инструмента и его геометрию. Для сверления глубоких отверстий применяют различные инструменты.

В зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия их подразделяют на инструменты сплошного сверления ($D=80$ мм) и инструменты кольцевого сверления ($D>80$ мм). Для сплошного сверления применяют сверла одностороннего резания (однокромочные) и двустороннего резания (двухкромочные), а для кольцевого – головки однорезцовые и многорезцовые. Сверла одностороннего резания бывают полукруглые (пушечные) и трубчатые (ружейные), которые, в свою очередь, подразделяются на сверла с наружным и с внутренним удалением стружки. Сверла двустороннего резания – перовые, шнековые, спиральные и эжекторные.

Полукруглые сверла применяют для сверления глубоких отверстий диаметром до 10 мм. Их конструкция и геометрия показаны на рисунке 3.5. Сверло представляет собой круглый стержень, срезанный примерно на $0,5D$. Главная режущая кромка расположена перпендикулярно к оси сверла, вспомогательная – под углом $\phi_1=10^\circ$.

Вдоль сверла делается калибрующая ленточка шириной $f=0,5-1$ мм. Фасонная режущая кромка располагается выше оси сверла на $h=0,2-0,5$ мм во избежание заедания. В последнем случае образуется небольшой положительный передний угол для боковой фасонной режущей кромки.

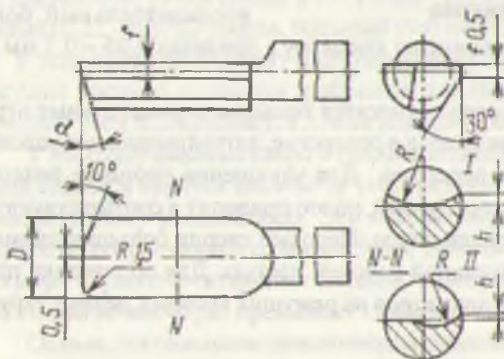


Рис. 3.5. Полукруглое сверло для глубокого сверления

У главной режущей кромки $\gamma=0$, $\alpha=8-10^\circ$. Сверло имеет утонение к хвостовику в пределах $0,03-0,06$ мм на 100 мм длины. Как видно, такое сверло имеет нерациональную геометрию, создает значительные силы трения вследствие большой опорной поверхности, работает без охлаждения. Поэтому для удаления стружки и охлаждения сверла необходимо периодически процесс резания прекращать и выводить сверло из канала, в результате чего снижается производительность. В процессе работы сверло уводит, вследствие чего не обеспечивается достаточная прямолинейность отверстия.

Более совершенными сверлами глубокого сверления являются ружейные (трубчатые) сверла (рис. 3.6.). Рабочая часть может быть цельной из твердого сплава и с напаянными твердосплавными пластинами. В первом случае рабочая часть припаивается встык к трубчатому корпусу из стали 40Х или 35ХГСА.

Такие сверла делают диаметром $D=2-15$ мм. Сверла имеют внутренний канал круглого или серпообразного поперечного сечения для подвода СОЖ под давлением 2–4 МПа. СОЖ вместе со стружкой вымывается по наружной прямой канавке. Твердосплавная пластина 1 является режущей, направляющие пластины 2 и 3 из твердого сплава группы ТК – соответственно опорная и упорная. Чтобы создать более благоприятные условия резания в вершине сверла, пластина смещена на $(0,2-0,25)D$ вперед от центра сверла. С этой же целью режущая кромка в вершине сверла опущена немного ниже его центра. В результате этого при сверлении в центре образуется стержень диаметром до $0,02D$, который легко ломается и удаляется. Вместе с тем он повышает устойчивость сверла.

Канавки для выхода стружки, удаляемые СОЖ, прокатывают или фрезеруют. СОЖ под давлением подают по внутреннему каналу, который имеет круглое или серпообразное сечение. Ширина фаски $f=0,3-0,8$ мм. Такие сверла делают диаметром 8-30 мм.

Шнековые сверла

При глубоком сверлении оказывается затруднительным одновременно обеспечить надежный отвод стружки из зоны резания и создать на режущей части сверла требуемые величины геометрических параметров. Поэтому более целесообразно разработать конструкцию сверла глубокого сверления, у которой форма винтовой канавки определяется, исходя из условий обеспечения нормального отвода стружки, а необходимые геометрические параметры режущей части создаются заточкой передних и задних поверхностей.

Примером подобной конструкции могут служить шнековые сверла для обработки отверстий глубиной до 30–40 диаметров в чугунах (рис. 3.7).

В отличие от стандартных сверл шнековые имеют больший угол наклона винтовых канавок $\alpha=60^\circ$ и увеличенную толщину сердцевины, равную $0,3-0,35$ диаметра сверла. Диаметр сердцевины не изменяется по длине сверла, в то время как у стандартных сверл он увеличивается при перемещении от режущей части к хвостовику. Стружечные канавки шнекового сверла имеют в своем сечении прямолинейный треугольный профиль с закруглением во внешнем радиусе, причем образующая рабочей стороны канавки идет перпендикулярно к оси сверла. Канавка сверла плавно переходит в спинку зуба, идущую под углом 15° к оси, образуя ленточку заданного размера. У шнековых сверл ширина ленточки берется равной $0,5-0,8$ ширины ленточки стандартного сверла.

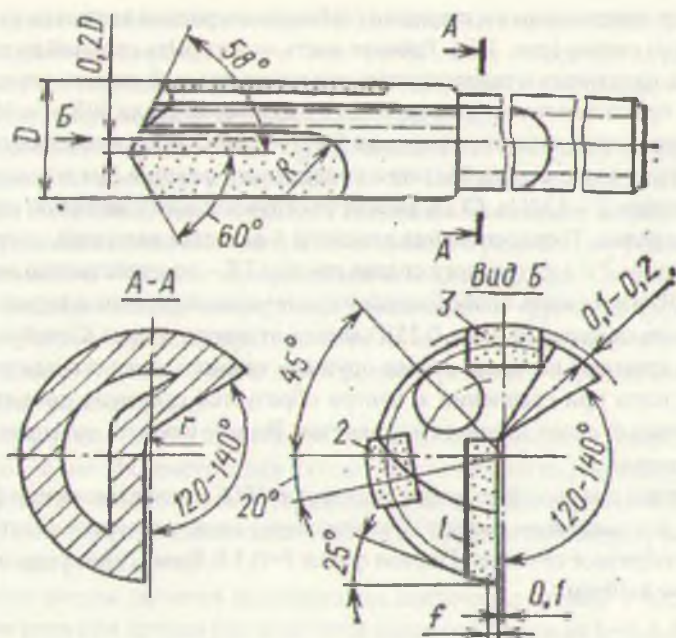


Рис. 3.6. Твердосплавное трубчатое ружейное сверло

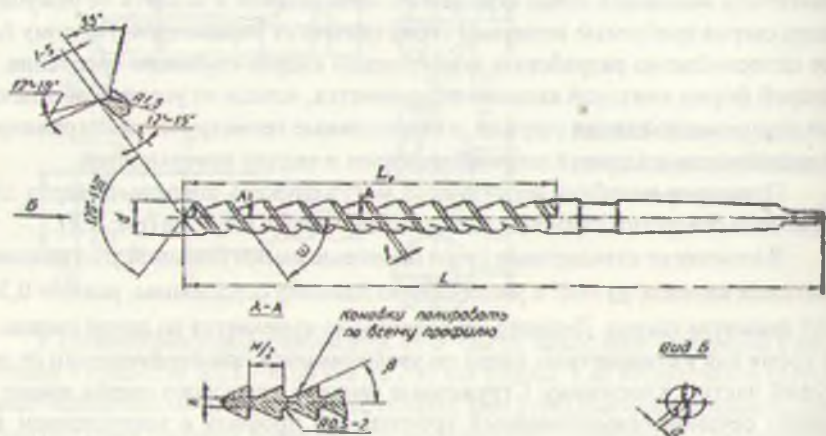


Рис. 3.7. Шнековое сверло

Увеличенный угол наклона винтовых каналов и их соответствующий профиль обеспечивают при глубоком сверлении надежное удаление стружки из зоны резания без отводов сверла из отверстия.

Требуемые величины геометрических параметров на режущей части широкоугольного сверла создают подточкой передней поверхности и заточкой задней поверхности по плоскостям. При обработке чугуна принимают такие геометрические параметры: статический передний угол $12 - 18^\circ$, задний угол $12 - 15^\circ$, угол при вершине сверла $2\phi = 120 - 130^\circ$.

При обработке стали передний и задний углы берут в пределах $12 - 15^\circ$, а угол при вершине - 90° .

На рисунке 3.8 приведена конструкция сверла с внутренним отводом стружки и раздельным расположением в шахматном порядке пластин из твердого сплава, припаянными к корпусу сверла. Это сверло делают диаметром от 30 до 65 мм.

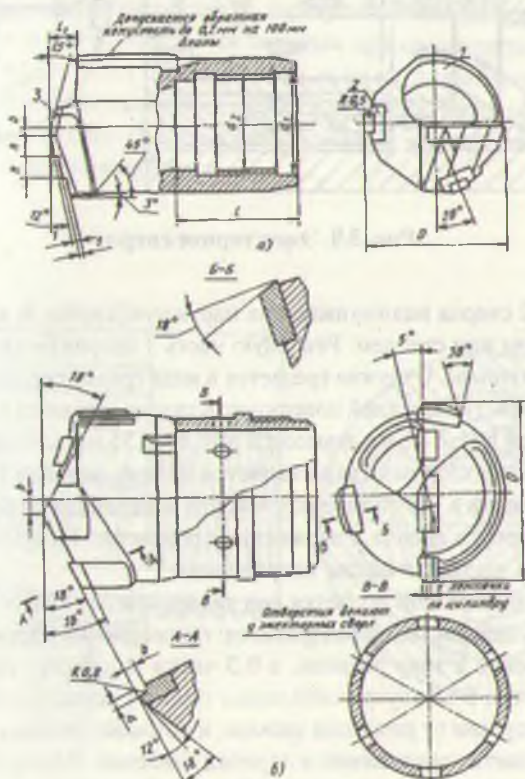


Рис. 3.8. Сверла для глубокого сверления с внутренним отводом стружки

Для обеспечения формы стружки, способствующей её хорошему отводу, на передней поверхности сверл с внутренним отводом стружки делают стружколомающие канавки.

Эжекторное сверло для глубокого сверления показано на рисунке 3.9. Такие сверла делают диаметром 20–65 мм, они имеют две режущие кромки, т.е. являются инструментами двустороннего резания.

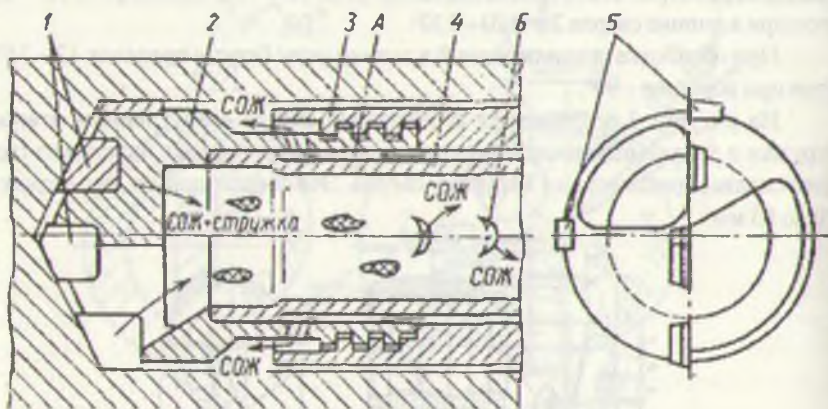


Рис. 3.9. Эжекторное сверло

Головку 2 сверла навинчивают на наружную трубку 3, являющуюся несущим корпусом или стеблем. Режущую часть 1 сверла оснащают пластинами из твердого сплава. Стружка срезается в виде сравнительно узких ленточек и легче удаляется. На передней поверхности твердосплавных пластин сделаны уступы шириной $b=1,2-2$ мм и высотой $a=0,4-0,55$ мм для ломания стружки. Особенностью эжекторных сверл является эффект подвода СОЖ, уходящей вместе со стружкой в результате разряжения и перепада давления, создаваемого внутри корпуса сверла. Разряжение происходит вследствие разделения прямого потока жидкости на два направления.

Прямой поток СОЖ подается под давлением 2–3 МПа по каналу А. Не доходя до режущей части, он разделяется: примерно 0,7 части жидкости продолжает движение в зону резания, а 0,3 части направляется обратно через щели или прорезы Б во внутренний канал трубы 4. Между потоком жидкости со стружкой, идущим от режущих кромок, и потоком, уходящим через щели Б по трубе 4, создается разряжение и перепад давления. В результате, основной поток СОЖ, захвативший стружку, как бы засасывается предыдущим потоком и движется с большой скоростью. Это несколько повышает эффективность удаления стружки при глубоком сверлении. Такие сверла также имеют направляющие планки 5 из твердого сплава.

Эжекторные сверла работают при скоростях 25 – 200 м/мин с подачей 0,15 – 0,7 мм/об. Их применяют при глубоком сверлении различных обрабатываемых материалов. Сверла обеспечивают точность обработки 9 – 11 качества и шероховатость поверхности $R_a = 1,25 - 0,63$ мкм.

Производительность обработки такими сверлами увеличивается в 5 раз за счет повышения скорости резания и подачи.

Головки для кольцевого сверления глубоких отверстий бывают цельными из быстрорежущей стали (диаметр 30 – 60 мм), с напаянными твердосплавными пластинами (диаметр 30 – 150 мм), сборные со вставными зубьями из быстрорежущей стали (диаметр более 70 мм) и сборные со вставными зубьями, на которые напаяны пластины из твердого сплава (диаметр более 100 мм). Головка соединяется с несущим пустотелым стеблем с помощью резьбы.

Сущность кольцевого сверления состоит в том, что по всей длине детали заготовки прорезается кольцевая полость. В результате получается отверстие нужного диаметра и сердечник остается цельным при сравнительно большом диаметре или же он ломается при сверлении, если его диаметр небольшой. Сердечник проходит внутри головки и стебля. Вследствие этого значительно уменьшается площадь срезаемого слоя и работа резания. На рисунке 3.10 показана головка для кольцевого сверления.

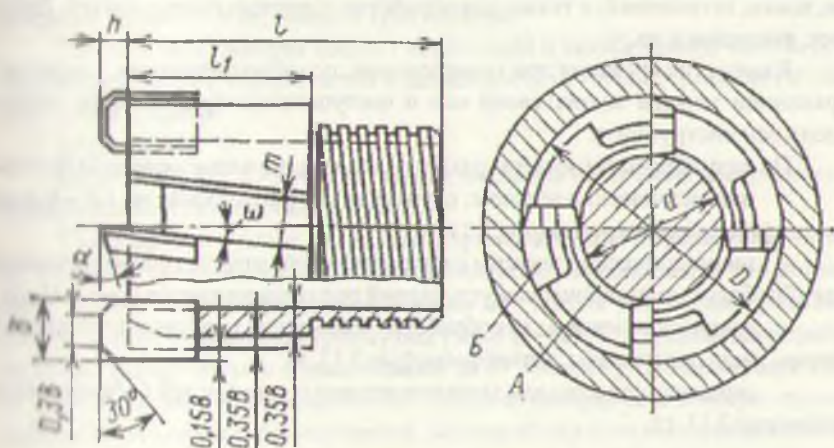


Рис. 3.10. Головка для кольцевого сверления

СОЖ под давлением до 5 МПа подается во внутреннюю кольцевую полость А; проходя через зону резания, она направляется по наружным каналам В головки, унося с собой стружку. Эти канавки расположены на наружной поверхности несущего стебля.

Длина головки $l=(0,8 - 1,5)D$, где D – диаметр обрабатываемого отверстия; длина рабочей части $l_1=0,7D$. В зависимости от диаметра головки число зубьев $z=4 - 12$. На зубьях делается направляющая ленточка шириной 0,8 – 1,5 мм с обратной конусностью 30' – 35'. Ширина реза (зубьев) для головок диаметром 30 – 150 мм $B=(0,05D-3)L^{0,15}$ мм и для головок диаметром более 150 мм $B=(0,03D-6)L^{0,15}$ мм, где L – длина обрабатываемого отверстия. Ширина стружечной канавки $m=B$. Зубья и канавки в головке имеют наклон к оси под углом $\varphi=5^\circ$ и затачиваются по задней поверхности под углом $\alpha=6 - 8^\circ$. Главный угол в плане $\varphi=60^\circ$.

Головки, оснащенные твердым сплавом, работают при скорости резания до 160 м/мин и подаче 0,008 – 0,012 мм на зуб. Кольцевое сверление обеспечивает обработку отверстий 11 – 12 квалитетов точности и шероховатость поверхности $R_z=20 - 40$ мкм.

3.4. Зенкеры

Зенкеры применяются для увеличения диаметров цилиндрических отверстий, с целью повышения их точности и уменьшения шероховатости, получения отверстий заданного профиля, полученных после сверления, отливки,ковки, штамповки, а также для обработки торцевых поверхностей, бобышек, выступов и др.

Кинематика резания при зенкеровании, подобно сверлению, сводится к вращению зенкера вокруг своей оси и поступательному движению подачи вдоль оси инструмента.

По виду обработки зенкеры разделяются на следующие основные группы:

- цилиндрические зенкеры, служащие для расширения на 1,0 – 0,8 мм цилиндрических отверстий (рис.3.11, а);
- цилиндрические зенкеры с направляющей цапфой, предназначенные для обработки цилиндрических углублений под головки винтов (рис.3.11, б);
- конические зенкеры для обработки конических углублений под головки винтов, гнезд под клапаны, снятия фасок (рис.3.11, в);
- торцевые зенкеры для зачистки торцевых плоскостей бобышек, приливов (рис.3.11, г).

По способу крепления зенкеры делят на хвостовые и насадные. Они могут быть хвостовыми цельными, хвостовыми сборными со вставными ножами, насадными цельными и насадными сборными. Хвостовые зенкеры подобно сверлам крепят с помощью цилиндрических или конических хвостовиков, насадные зенкеры имеют коническое посадочное отверстие (конусности,

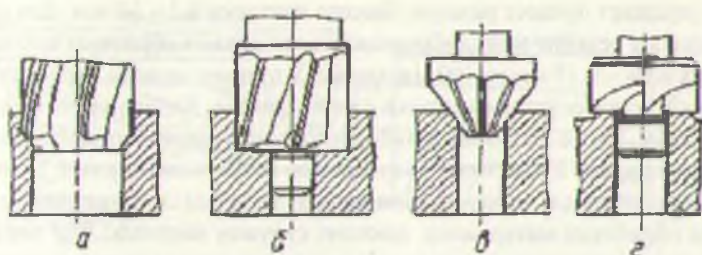


Рис. 3.11. Типы зенкоров

130) и торцевую шпонку для предохранения от провертывания при работе.

Зенкеры делают из быстрорежущей стали или с пластинами твердого сплава.

Зенкеры из быстрорежущей стали изготавливают хвостовыми цельными диаметром 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 делают обычно на шейке. Конструкция хвостового цельного зенкера приведена на рисунке 3.12, 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.

Рабочая часть зенкера состоит из режущей и калибрующей частей. Длина режущей части l_p определяется в зависимости от глубины резания t и главного угла в плане ϕ :

$$l_p = (t + a) \operatorname{ctg} \phi,$$

где $a = (0,5 - 1,0)t$, 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 $\phi' = 30^\circ$. У зенкоров для обработки глухих отверстий угол ϕ увеличивают до 90° . Задний угол на режущей части зенкера выбирают в пределах $6 - 10^\circ$. 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 ленточки наблюдается большое налипание на нее стружки.

ки, что ухудшает процесс резания. Высота ленточки 0,2 – 1,0 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 $\omega = 15-25^\circ$, у насадных $\omega = 15-20^\circ$. Большие значения угла ω принимают при обработке заготовок из более вязких материалов. Угол ω определяет передний угол в осевом направлении. Угол наклона стружечных канавок для точек, не лежащих на наружном диаметре, $\text{tg } \omega_x = r_x \text{tg } \omega / r$, где r_x – радиус, на котором определяют угол наклона стружечной канавки; r – наружный диаметр зенкера.

Передний угол зенкера в нормальном сечении к режущей кромки определяют для зенкеров, у которых режущая кромка расположена по радиусу ($\lambda = 0^\circ$):

$$\text{tg } \gamma_{\text{нх}} = \text{tg } \omega_x / \sin \varphi.$$

Диаметр зенкера для обработки отверстий устанавливают в зависимости от его назначения. Диаметр зенкера, предназначенного для обработки отверстий под последующее развертывание, определяют с учетом припуска под развертывание. Диаметр зенкера 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 обрабатываемое отверстие. Допуск на изготовление принимают равным 0,25 допуска на отверстие.

Заднюю поверхность у зенкеров сборной конструкции оформляют по плоскости. Для крепления ножей на корпусе делают косые пазы, наклоненные к оси под углом $\omega = 10-20^\circ$. Передняя поверхность корпуса плоская. Ножи имеют клиновидную форму с углом клина 5° , их крепят в корпусе с помощью рифлений.

Хвостовые цельные зенкера имеют три зуба, насадные цельные – четыре. Форма профиля поперечного сечения зенкера, имеющего три зуба, показана на рисунке 3.12, г.

Форма профиля зенкера, имеющего четыре зуба, показана на рисунке 3.12, д. Высота зуба этих зенкеров $h = (0,1-0,16)d$. Спинка зуба криволинейная, что позволяет обрабатывать зуб за один проход, тогда как профиль, указанный на рисунке 3.12, г, требует раздельной обработки канавки и спинки зуба. Наи-

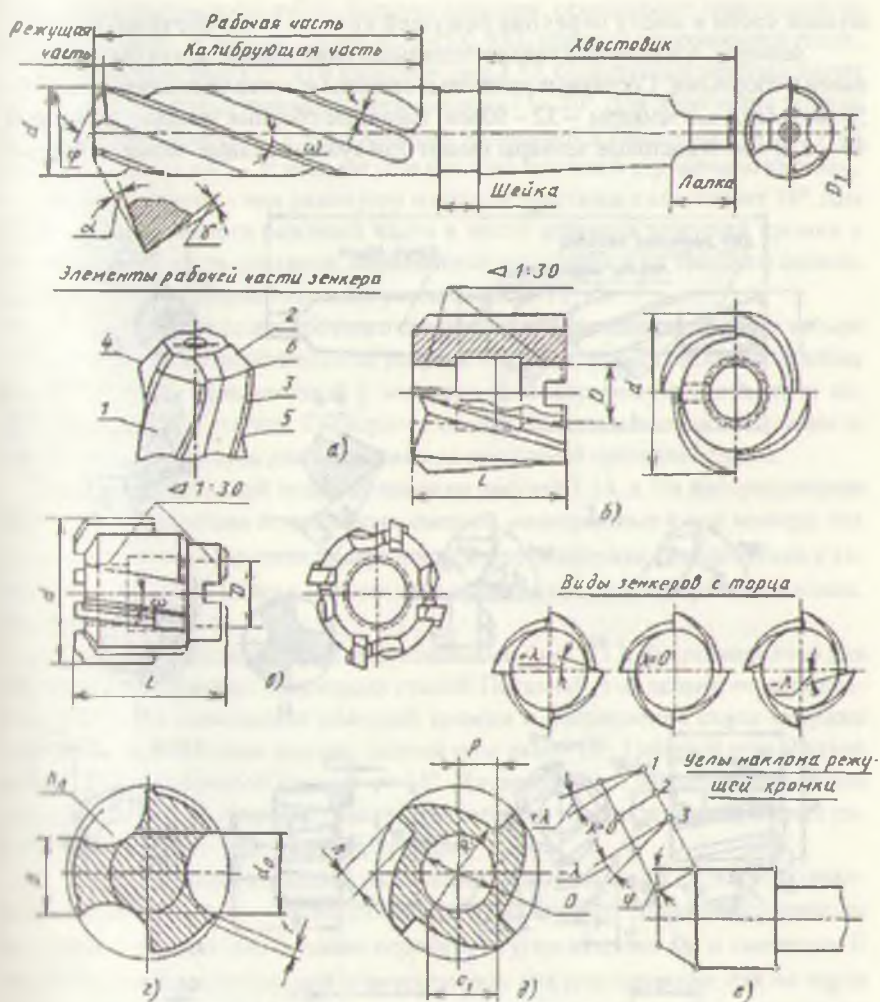


Рис.3.12. Зенкеры из быстрорежущей стали

более часто зенкеры изготовляют с расположением режущей кромки по радиусу ($\lambda = 0^\circ$) (рис.3.12, 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 ре-

жушей 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 зенкеры – 32–80 мм, насадные сборные зенкеры диаметром 40–120 мм. Хвостовые зенкеры имеют три зуба, насадные четыре, сборные

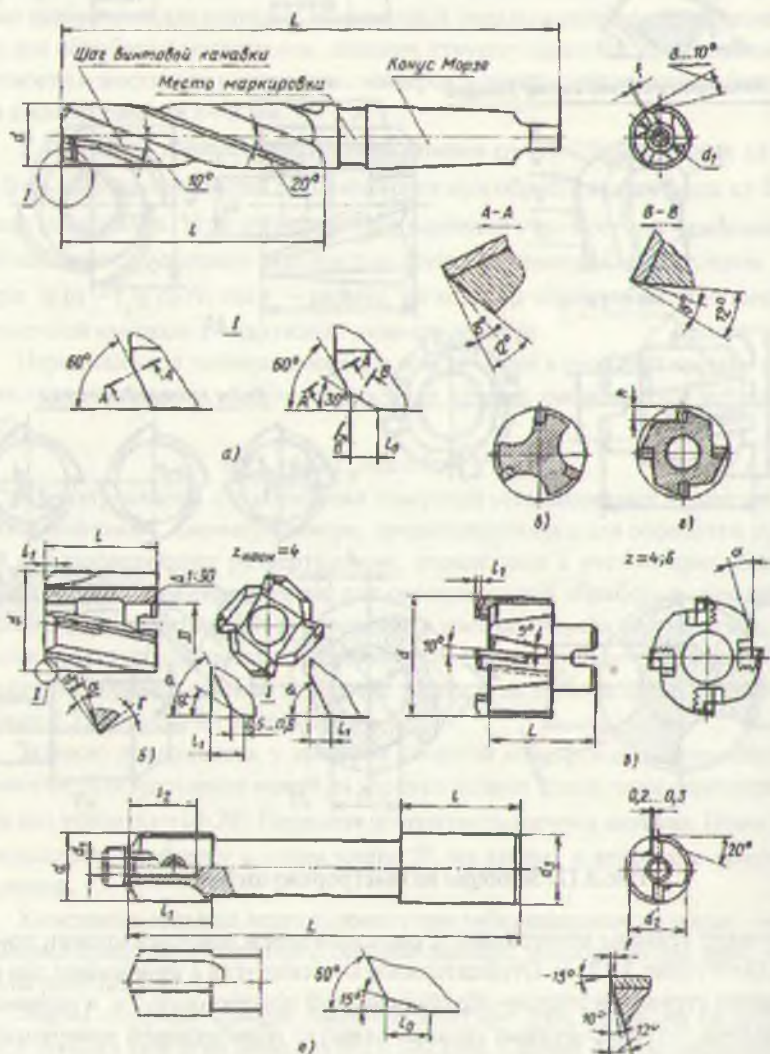


Рис. 3.13. Конструкция зенкеров, оснащенных пластинами из твердого сплава

зенкеры – четыре-шесть зубов. Корпуса зенкеров, оснащаемые пластинами из твердого сплава, делают из сталей 40Х, 45Х, 9ХС или из быстрорежущей стали.

Хвостовые (рис.3.13, а) и насадные (рис.3.13, б) составные зенкеры имеют винтовые стружечные канавки с углом наклона $15-20^\circ$. Для облегчения заточки и шлифования пластины в этих зенкерах напаивают в наклонных пазах, угол наклона которых на $3-5^\circ$ 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 зенкеров, оснащенные пластинами из твердого сплава, обычно делают с положительным углом λ (рис.3.12, е).

Формы профиля поперечного сечения зенкеров, имеющих три и четыре зуба, показаны соответственно на рисунке 3.13, 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 рисунке 3.13, д. На корпусе зенкера делают для крепления ножей косые канавки, наклоненные к оси зенкера под углом $(\alpha) = 10-15^\circ$. Передняя поверхность корпуса плоская. Число зубьев у таких зенкеров $z=4-6$. Ножи в корпусе закреплены с помощью рифлений и клина. Угол клина 5° .

Составной зенкер с прямыми канавками (рис.3.13, 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 $\phi=60^\circ$, угол переходной кромки $\varphi=15^\circ$. Длина рабочей части зенкера равна длине пластины из твердого сплава. Для лучшего направления в процессе работы зенкер имеет переднее направление.

Для облегчения 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 (α) и смещение E относительно диаметральной плоскости паза под пластину или нож на торце зенкера. На рисунке 3.14, а показаны геометрические параметры, задаваемые для вершины лезвия А, а также параметры установки (α) и E составного зенкера, оснащенного пластинами из твердого сплава.

Для определения параметров (α) и E необходимо знать значение торцевого γ_I и осевого γ_{II} передних углов, определяемых соответственно в плоскостях I (проекция 2) и II – II (проекция 1).

Углы γ_I и γ_{II} определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma_I = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{II} = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi$$

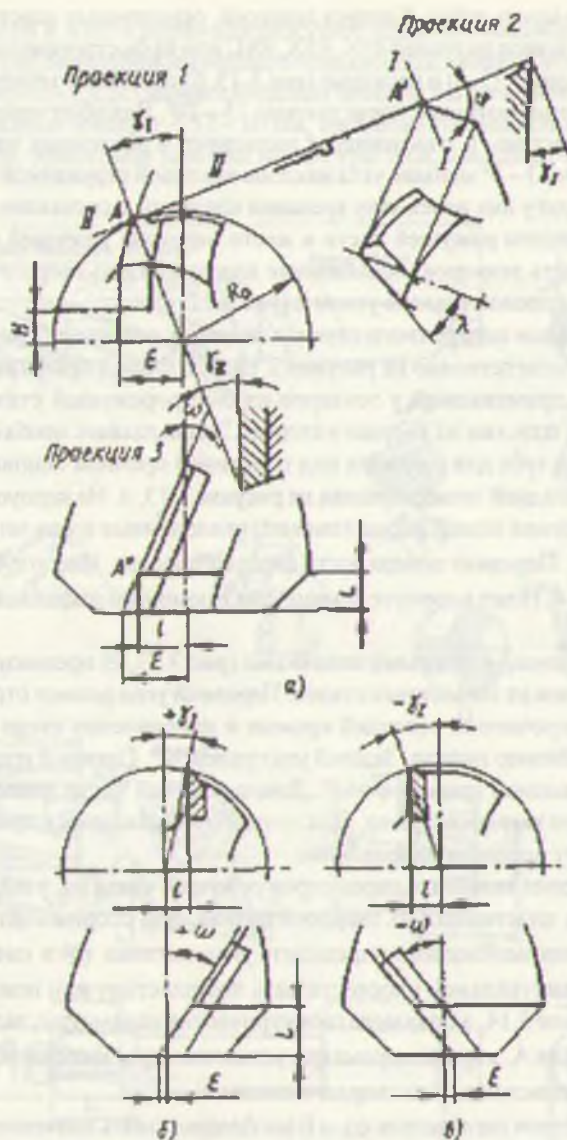


Рис. 3.14. Параметры установки пластин или ножей у зенкоров, оснащенных пластинами из твердого сплава и сборных зенкоров

Угол ω - проекция угла γ_2 на плоскость чертежа (смотри проекцию 3) можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma_2 \operatorname{Cos} \gamma_1$$

Смещение E (проекция 1, 3): $E = l + L \operatorname{tg} \omega$, где $l = R_0 \sin \gamma$, 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 и γ_0 и ω могут быть как положительными, так и отрицательными (рис. 3.14, б, в). Например, на рисунке 3.14, в углы γ и ω отрицательные и $E = l - L \operatorname{tg} \omega < 0$.

Расстояние H от оси зенкера до дна паза под пластину твердого сплава зависит от радиуса инструмента, ширины b пластины:

$$H = R_0 - b + 0,5\delta,$$

где $\delta = 0,2-0,4$ мм - припуск на шлифование инструмента по диаметру.

Разработаны также конструкции зенкеров с механическим креплением круглых пластин из быстрорежущей стали или из твердого сплава (рис. 3.15).

У этого зенкера 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.

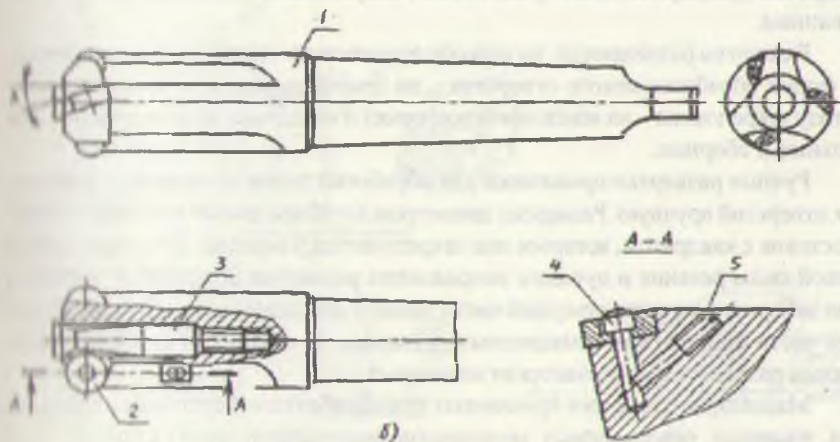


Рис. 3.15. Зенкер с механическим креплением пластин

Диаметр в начале режущей части зенкера меньше диаметра предварительно обработанного отверстия на 1 – 2 глубины резания.

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 выбирают $\lambda = 0^\circ$. У твердосплавных зенкеров, для упрочнения вершины зуба применяют положительное значение $\lambda = 10 \dots 15^\circ$.

3.5. Развертки

Развертки применяют главным образом для окончательной обработки отверстий 6 – 11 качества точности с шероховатостью поверхности $R_a = 0,32 \dots 2,5$ мкм. Процесс развертывания принципиально не отличается от процесса зенкерования. Здесь та же кинематика резания, что и при зенкеровании.

Однако при развертывании точность обработки отверстий выше, а шероховатость поверхности ниже, чем при зенкеровании. Это объясняется тем, что развертки имеют большее число зубьев и удаляют меньший припуск. В результате уменьшается толщина срезаемого слоя, улучшается направление и повышается устойчивость в работе, что благоприятно влияет на точность обработки. Кроме того, развертки, как чистовой инструмент, делаются более качественно и более точно, чем зенкеры. Во всех случаях под развертывание отверстия предварительно обрабатывают сверлением, зенкерованием, растачиванием.

Развертки разделяются: по способу применения – на ручные и машинные, по форме обрабатываемого отверстия – на цилиндрические и конические, по методу закрепления – на концевые (хвостовые) и насадные, по конструкции – на цельные и сборные.

Ручные развертки применяют для обработки цилиндрических и конических отверстий вручную. Развертки диаметром 3 – 40 мм имеют цилиндрический хвостовик с квадратом, которым они закрепляются в воротке. Для уменьшения осевой силы резания и лучшего направления развертки во время её врезания угол заборного конуса у режущей части делают небольшим, а длину калибрующей части больше, чем у машинных разверток. В остальном режущая часть ручных разверток не отличается от машинных.

Машинные развертки применяют для обработки отверстия на сверлильных, токарных, револьверных, координатно-расточных и других станках.

Ручные развертки изготавливают из быстрорежущей стали, а также из легированной стали 9ХС, так как они работают при малых скоростях резания. Машинные развертки диаметром 3 – 50 мм и ножи для сборных разверток диаметром 40 – 100 мм изготавливают из быстрорежущей стали или оснащают

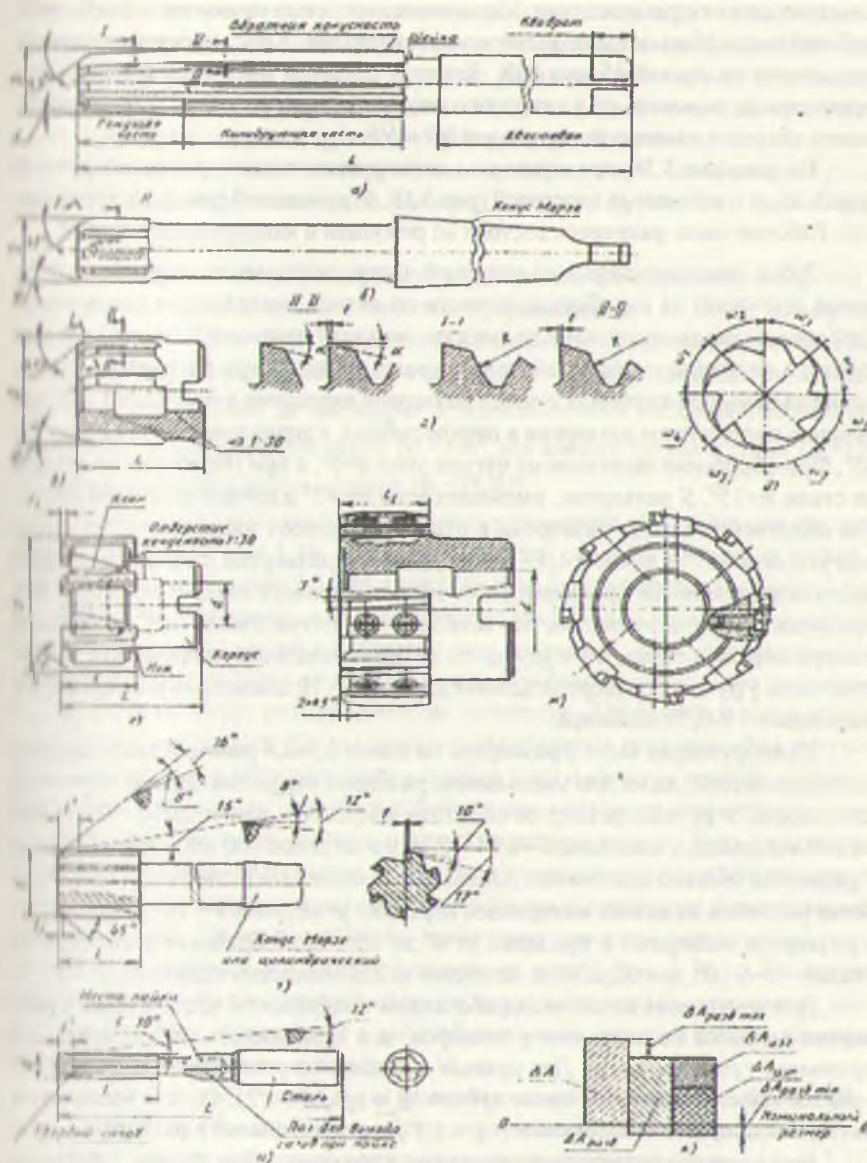


Рис. 3.16. Развертки для обработки цилиндрических отверстий

пластинами из твердого сплава. 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 пластинами из твердого сплава, делают из стали 40Х, корпуса ножей сборных разверток – из сталей У7 и У8.

На рисунке 3.16 представлены конструкции цилиндрической ручной (рис.3.16, а) и машинных хвостовой (рис.3.16, б) и насадной (рис.3.16, в) разверток. Рабочая часть разверток состоит из режущей и калибрующей частей.

Зубья, расположенные на режущей части, затачивают 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 чугуна угол $\varphi = 5^\circ$, а при обработке заготовок из стали $\varphi = 15^\circ$. У разверток, имеющих угол $\varphi = 45^\circ$ 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 её 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 для уменьшения разбивки отверстия делают 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 длине 100 мм. 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 – $\alpha = 10 - 15^\circ$.

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 ориентировочное число зубьев $z = 1,5\sqrt{d} + (2...4)$, для машинных разверток сборной конструкции – $z = 1,2\sqrt{d}$ где d – диаметр развертки.

Большинство разверток изготавливают с прямым зубом. Форма зубьев показана на рисунке 3.16, г. Вогнутая форма спинки зуба увеличивает пространство для размещения стружки, её рекомендуется делать при обработке заготовок из вязких материалов. Окружной шаг зубьев делают равномерным и неравномерным. Применение разверток с неравномерным шагом улучшает каче-

ство обработанных отверстий (снижает шероховатость поверхности, уменьшает их граненность). Для удобства измерения развертки, как правило, изготавливают с четным числом зубьев, а в случае неравномерности окружного шага перекрестлежащие углы у них делают равными (рис.3.16, 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: $\omega_1=41^\circ53'$; $\omega_2=44^\circ05'$; $\omega_3=46^\circ06'$; $\omega_4=47^\circ56'$.

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 рисунке 3.16, е, ж и рассмотрены способы крепления ножей с rifлениями клином (рис.3.16, е) и винтами (рис.3.16, ж). Rifления 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 rifления корпуса, что увеличит размер диаметра развертки. Для развертывания отверстий диаметром от 40 до 300 мм применяют развертки, показанные на рисунке 3.16, 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 прошлифованы 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.3.16, 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.3.16, и).

Диаметр калибрующей части развертки зависит от диаметра обрабатываемого отверстия. При определении диаметра развертки необходимо учитывать разбег отверстия разверткой, допуск на ее изготовление, изнашивание (рис.3.16, к). Разбег отверстия зависит от диаметра отверстия, материала заготовки, режимов резания, охлаждающей жидкости, конструктивных и геометрических параметров, способа крепления, состояния станка, неточностей установки.

При обработке деталей с тонкими стенками, а также заготовок из вязких

и пластичных материалов недостаточно острой развертки, 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 отверстий 5 – 8 квалитетов точности максимальная разбивка $\Delta A_{\text{РАЗМАХ}}$ и допуск $\Delta A_{\text{ИЗГ}}$ на погрешность изготовления диаметра развертки принимают равным $1/3$ допуска на диаметр отверстия ΔA : $\Delta A_{\text{РАЗМАХ}} = \Delta A_{\text{ИЗГ}} = \Delta A/3$. После окончательного изнашивания диаметр перешлифованной развертки может быть меньше диаметра отверстия на величину минимальной разбивки, так как из-за наличия её будет обеспечиваться размер отверстия, не выходящий за пределы допусков. Исходя из этого, запас на изнашивание развертки при обработке отверстий 5 квалитета точности – $\Delta A_{\text{ИЗН}} \approx 0,60\Delta A$, при обработке отверстий 7 квалитета точности – $\Delta A_{\text{ИЗН}} \approx 0,55\Delta A$, при обработке отверстий 8 квалитета точности $\Delta A_{\text{ИЗН}} \approx 0,45\Delta A$.

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 комплект разверток из трех или двух штук (рис.3.17).

Первая (рис.3.17, 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.3.17, б) имеет форму, соответствующую форме обрабатываемого отверстия, её зубья для дробления стружки пересекаются прямоугольной резьбой, имеющей направление, обратное направлению резания. Шаг резьбы $P=1,5-3$ мм, ширина канавки $0,4P$, глубина $0,2P$. Третья развертка (рис.3.17, в) по конструкции отличается от цилиндрических разверток тем, что зубья у нее расположены на конусе и имеют переменную глубину канавки.

Конические развертки обычно делают с равномерным шагом. При получении отверстия 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.

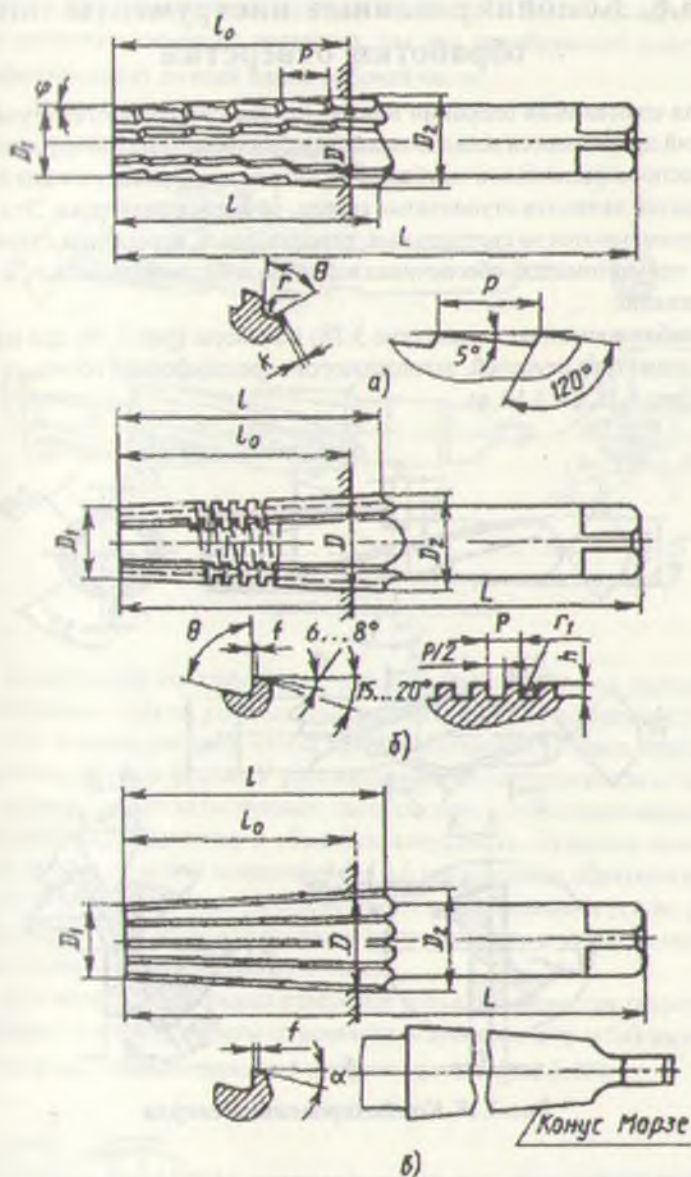


Рис.3.17 Комплект развёрток для обработки отверстий под конус Морзе и метрические: а – черновая; б – промежуточная; в – чистовая

3.6. Комбинированные инструменты для обработки отверстий

Для совмещения операций или переходов при обработке ступенчатых отверстий применяются всевозможные комбинированные инструменты. Наиболее распространенными комбинированными инструментами для обработки отверстий являются ступенчатые сверла, зенкеры и развертки. Эти инструменты применяются на сверлильных, revolverных, агрегатных станках и токарных полуавтоматах, обеспечивая высокую производительность и простое обслуживание.

Комбинированные сверла (рис.3.18) и зенкеры (рис.3.19) при малом перепаде диаметров ступеней, изготавливаются перешлифовкой обычных инструментов (рис.3.18, а и 3.19, а).

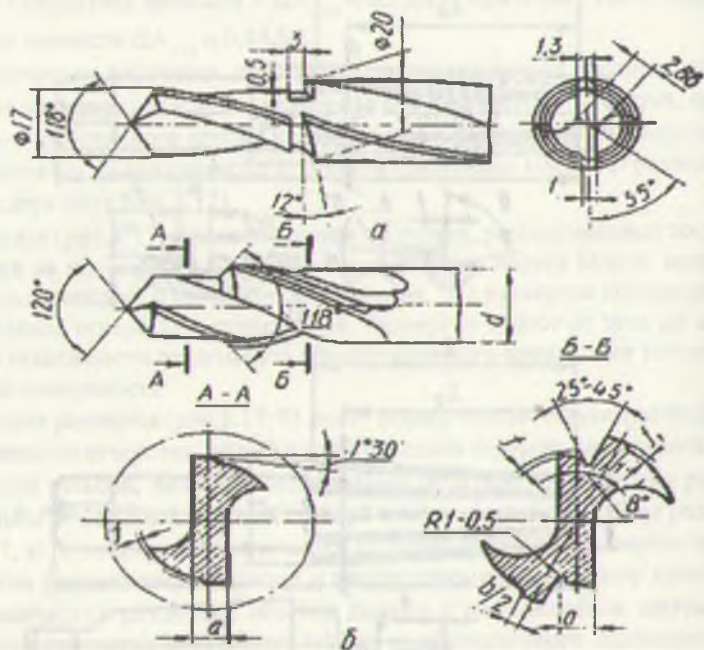


Рис. 3.18. Комбинированные сверла

Такие инструменты допускают сравнительно небольшое количество переточек, ограниченное длиной ступени малого диаметра. Поэтому находят применение сверла и зенкеры с чередующимися зубьями (рис.3.18, б и 3.19, б). У этих инструментов для каждой режущей кромки создается прямая или

пинтовая канавка и соответствующая ей ленточка. Такие инструменты допускают значительное число переточек, так как калибрующий участок каждой ступени проходит по всей длине рабочей части.

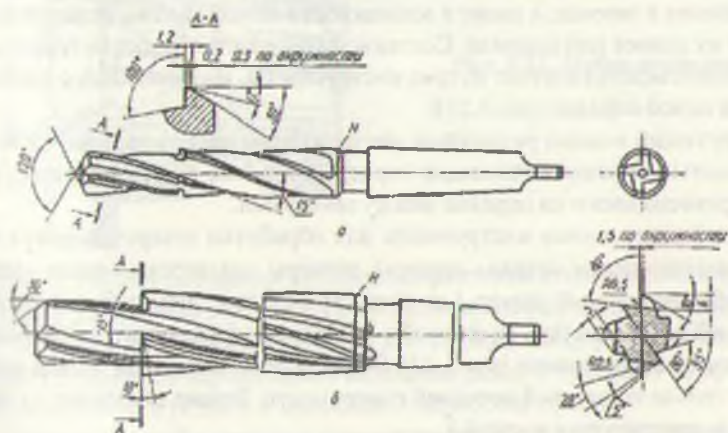


Рис. 3.19. Комбинированные зенкеры с винтовыми и прямыми канавками

Конструируя инструменты с чередующимися зубьями, варьируя глубиной, толщиной зубьев, угловым шагом, подбирают по возможности одинаковые углы впадин для того, чтобы при фрезеровании канавок меньшее число раз менять угловые фрезы. У рассматриваемых инструментов с чередующимися зубьями только калибрующая часть ступени наибольшего диаметра имеет цилиндрическую ленточку и обратную конусность. Ленточки калибрующих частей других ступеней шириной 0,5 – 0,6 мм не имеют обратной конусности и затачиваются по всей длине под вспомогательным задним углом, равным 5 – 6°. Для улучшения направления такие инструменты могут иметь специальную цилиндрическую направляющую часть.

Для обработки сложных отверстий большого диаметра применяют комбинированные инструменты со вставными зубьями. Эти зубья имеют фасонный профиль, соответствующий профилю детали (рис.3.20).

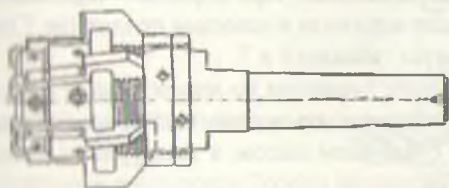


Рис. 3.20. Многоступенчатый
зенкер

Используются также составные комбинированные инструменты, которые представляют собой наборы простых инструментов, закрепленных на общей оправке. Преимущества этих инструментов заключаются в простоте их изготовления и заточки, а также в возможности легкой замены отдельных частей при их износе или поломке. Составной зенкер для обработки торца и ступенчатого отверстия состоит из трех инструментов, закрепленных с помощью гайки на одной оправке (рис.3.21).

Крутящий момент различным инструментам набора передается поводковой частью оправки с помощью торцевых шпонок и крестообразного поводка, размещенного на оправке между зенкерами.

Комбинированные инструменты для обработки отверстий могут быть также разнотипными: сверла – зенкеры, зенкеры – развертки, сверла – метчики. Комбинированный зенкер 4 со сверлом снабжен двумя зубьями с винтовой задней поверхностью, на которой в шахматном порядке выполнены стружкоразделительные канавки (рис.3.22). В процессе эксплуатации зенкер перетачивают только по плоской передней поверхности. Зенкер закрепляется на оправке 1 и центрируется втулкой 3.

Передача крутящего момента производится двумя штифтами 2, запрессованными в оправку. Инструмент снабжается вставкой в виде короткого сверла 5 с цилиндрическим хвостовиком, заканчивающимся резьбой.

Комбинированные инструменты могут также проектироваться для того, чтобы сообщать режущим элементам дополнительные вращательные или прямолинейно-поступательные перемещения, не предусмотренные кинематикой станка, что расширяет технологические возможности станков.

Для этого в конструкциях предусмотрены механизмы, которые позволяют изменять направление прямолинейного движения и преобразовывать вращательное движение в поступательное или поступательное во вращательное.

Изменение направления прямолинейно-поступательного движения обычно достигается за счет наклонных направляющих или рифлений, по которым и перемещаются сопряженные элементы. Так, на рисунке 3.23 показан подобный инструмент для прорезки кольцевых канавок в глухих отверстиях.

В тот момент, когда упор 1 коснется дна отверстия, скользящая втулка 4 с резцедержателем 9 остановится, а перемещающийся в направлении оси корпус 6 оправки, действуя на клин 8, вызовет поперечную подачу резцедержателя 9 с резцом и начнется прорезание канавки. При обратном перемещении корпуса 6 пружины 2 и 3 возвращают механизм в исходное положение. Глубина прорезаемой канавки регулируется гайками 5 и 7.

Преобразование поступательного движения во вращательное в комбинированных инструментах может осуществляться различными механизмами, в частности, при помощи резьбы с большим шагом, а также рейки и сопряженного с ней зубчатого колеса. Последний способ используют в инструменте для растачивания сферической поверхности (рис.3.24). Хвостовик 3 с зубча-

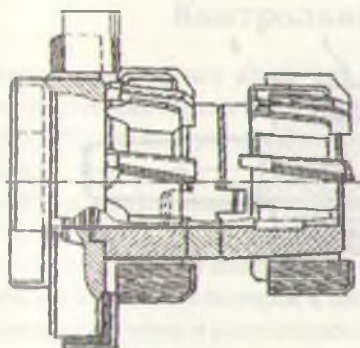


Рис. 3.21. Набор зенкеров

той рейкой 2 может смещаться в осевом направлении относительно корпуса 5, на котором закреплена втулка 4 и смонтирована направляющая втулка 1. При опускании шпинделя втулка 4 упирается во втулку 1 и корпус 5 останавливается. При дальнейшем перемещении шпинделя рейка 2 приводит во вращение зубчатое колесо 7 и резец 6 и происходит обработка сферы.

Возврат деталей в исходное положение при обратном движении шпинделя происходит под действием пружины.

Комбинированные инструменты в большинстве случаев являются специальными и применяются для обработки только определенных деталей главным образом в серийном или массовом производстве. Число ступеней комбинированного инструмента для обработки фасонных отверстий может достигать до шести. Ими могут обрабатывать соосные отверстия, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, а также многоступенчатые отверстия сложного профиля.

При конструировании комбинированных инструментов важно обеспечить надежный отвод стружки, так как иначе может произойти поломка инструмента при работе из-за пакетирования стружки в канавках. Улучшить отвод стружки от зоны можно увеличением объема стружечных канавок, уменьшением числа зубьев, увеличением угла наклона винтовых канавок, дроблением.

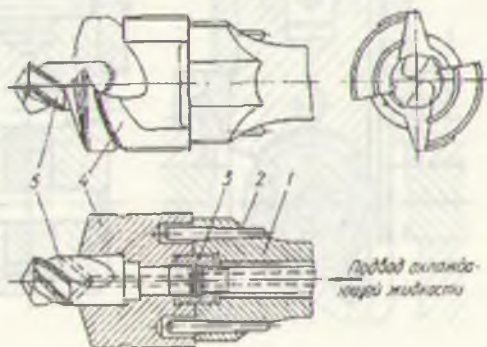


Рис. 3.22. Двухзубый зенкер со сверлом

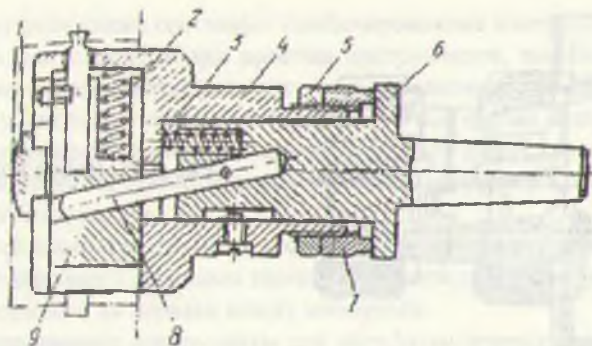


Рис. 3.23. Инструмент для прорезки канавок в глухих отверстиях

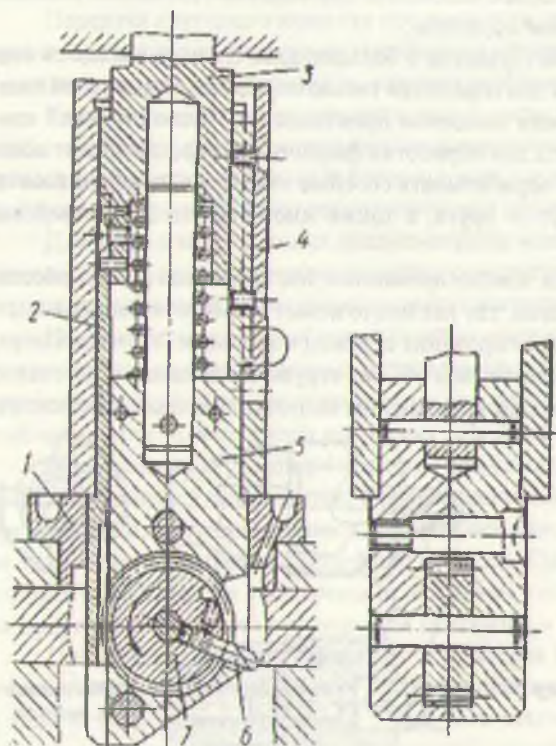


Рис. 3.24. Головка для расточки сферы

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды спиральных сверл, конструктивные и геометрические параметры их режущей части.
2. Приведите методы улучшения геометрических параметров спиральных сверл.
3. Укажите основные виды твердосплавных сверл, их эффективность и область применения.
4. Укажите особенности конструкции сверл для глубокого сверления.
5. Изложите назначения зенкеров и зенковок, их конструктивные особенности.
6. Укажите назначение и разновидности разверток.
7. Назовите назначение и конструктивные особенности комбинированных инструментов для обработки отверстий.
8. Укажите основные конструкции расточных инструментов.

Глава 4.

ПРОТЯЖКИ

4.1. Назначение и основные типы

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.

Протягивание является одним из наиболее производительных видов обработки металлов резанием. Высокая производительность объясняется большой суммарной длиной режущих кромок, одновременно участвующих в резании металла. Протягивание позволяет получить обработанные поверхности высокой точности с малой шероховатостью.

Протяжки применяют для обработки внутренних и наружных поверхностей заготовок с неизменными формой и размерами по длине обрабатываемой поверхности детали.

Режущая 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 (рис. 4.1.). В протяжках (рис. 4.1.а, б) сила резания приложена к передней рабочей части инструмента. В прошивках (рис. 4.1.в) сила резания приложена к задней рабочей части инструмента.

Для обработки отверстий протяжка имеет форму стержня, поперечное сечение которого соответствует поперечному сечению обработанной детали (рис. 4.2.).

На наружной рабочей поверхности исходного стержня создаются режущие зубья, диаметральные размеры которых увеличиваются к концу протяжки. За счет постепенного увеличения диаметральных размеров зубьев происходит срезание металла только при поступательном движении протяжки относительно заготовки. Последние профилирующие зубья протяжки имеют режущие кромки, расположенные на поверхности исходного стержня, что и обеспечивает формирование заданной поверхности детали. Протяжка, предназначенная для обработки наружных поверхностей, представляет собой призматическое тело, на рабочей поверхности которого образованы режущие зубья. Высотные размеры режущих зубьев увеличиваются к концу протяжки. Благодаря этому происходит срезание металла только при поступательном движении протяжки относительно заготовки.

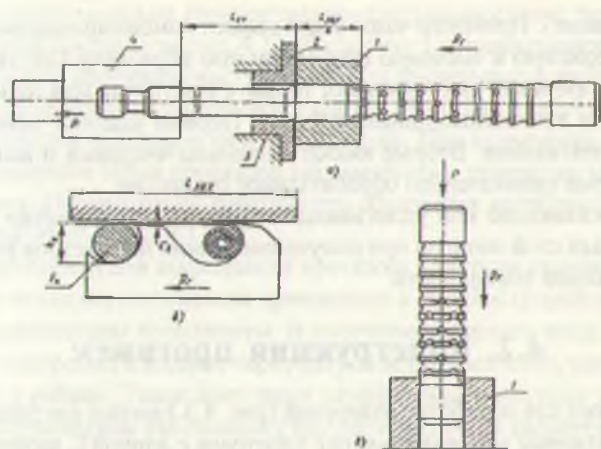


Рис. 4.1. Протяжка и прошивка и принцип их работы

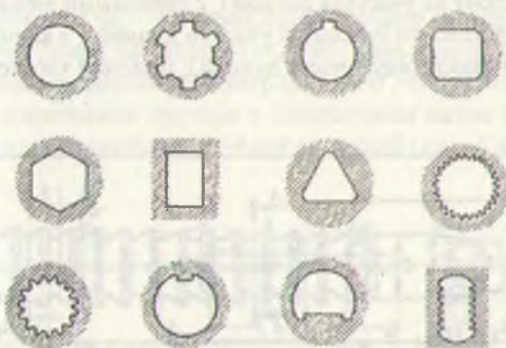


Рис. 4.2. Виды отверстий, полученных протягиванием

Протяжка — это сложный и дорогостоящий многолезвийный инструмент. Он узко специализирован для обработки одной или группы деталей с определенным контуром обрабатываемой поверхности, поэтому его применяют, главным образом, в массовом и крупносерийном производстве, а также в мелкосерийном производстве для обработки поверхностей заготовок, когда формы обрабатываемых поверхностей и их размеры нормализованы.

Протяжки подразделяются на внутренние и наружные. Внутренние протяжки служат для обработки отверстий как простых, так и сложного профиля. Наружные протяжки применяют для обработки плоскостей и фасонных поверхностей на призматических деталях, а также цилиндрических и фасонных поверхностей на деталях тел вращения.

По конструкции протяжки бывают цельные и сборные. По схемам резания они различаются на одинарные (обычные) и групповые (протяжки пере-

менного резания). Протяжки чаще всего делают комбинированными, выполняющими черновую и чистовую окончательную обработку. Однако в некоторых случаях протяжки изготавливают только с режущими или только с калибрующими или выглаживающими зубьями. Первые удаляют основной припуск под протягивание. Вторые имеют несколько чистовых и калибрующих зубьев, которые окончательно обрабатывают отверстие.

Выглаживающие или уплотняющие протяжки пластически уплотняют поверхностный слой металла при получении низких параметров шероховатости обработанной поверхности.

4.2. Конструкция протяжек

Протяжки для обработки отверстий (рис. 4.3.) имеют следующие основные конструктивные элементы (части): хвостовик с длиной l_1 , шейки длиной l_2 , переходной направляющий конус длиной l_3 , переднюю направляющую длиной l_4 , которая состоит из участков длиной l_6 с черновыми зубьями, длиной l_7 с переходными и чистовыми зубьями и участка длиной l_8 с калибрующими зубьями, заднюю направляющую часть длиной l_9 и задний хвостовик длиной l_{10} .

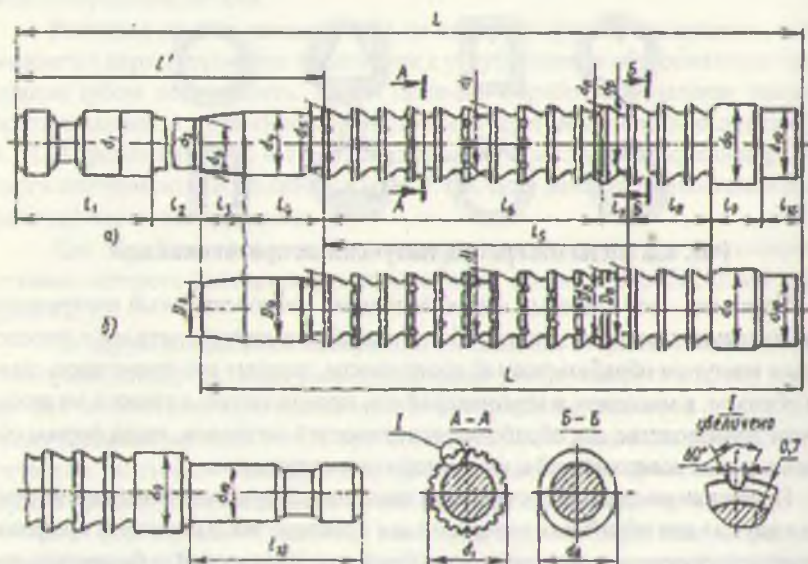


Рис. 4.3. Цилиндрическая протяжка и прошивка

Положение протяжки на горизонтально-протяжном станке перед началом рабочего хода показано на рис. 4.1,а. Заготовку 1 устанавливают на передней направляющей протяжки (часть длиной l_2) и прижимают к торцу фланца 2, закрепленного на опорной планшайбе 3 станка. Хвостовик протяжки (часть длиной l_1) крепится в зажимном патроне 4 станка. При включении рабочего хода ползуна режущие зубья протяжки, перемещаясь в отверстии заготовки, срезают припуск. Окончательно поверхность образуется калибрующими зубьями протяжки (часть длиной l_3).

Хвостовик служит для закрепления протяжки в патроне станка. Хвостовик делается под патрон с клиновым креплением и под быстродействующий патрон с автоматическим креплением. В хвостовике первого вида делается продолговатое отверстие, в которое через патрон вставляют клин, удерживающий протяжку в работе. Такое крепление неэффективно, поэтому его редко применяют. Достоинством хвостовика с круговой выточкой является быстрота закрепления и раскрепления протяжки, простота изготовления и достаточно высокая прочность.

Диаметр хвостовика $d_1 = d_0 - (0,5-1)$ мм, где d_0 — диаметр предварительно подготовленного отверстия. Длина хвостовика $l_1 = (2-5)d_1$; здесь меньший коэффициент применяется для больших протяжек. Диаметр выточки $d'_1 = (0,7-0,8)d_1$ (рис. 4.4).

Применяют хвостовики круглые с поперечным пазом (рис. 4.4,а), с плоской опорной поверхностью и круглой выточкой (рис. 4.4,б).

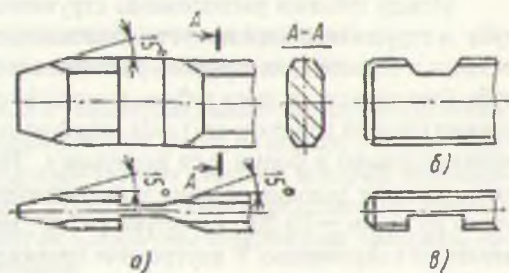


Рис. 4.4. Хвостовики протяжек

Для крепления шпоночных и им подобных протяжек применяют призматические хвостовики, которые также выполняют под клиновые крепления и под кулачковые быстродействующие патроны.

При протягивании одного шпоночного паза или при одностороннем протягивании других поверхностей возникает внецентричное приложение нагрузки. Протяжка будет работать не только на растяжение, но и на изгиб. Для уменьшения изгибающего момента у призматических хвостовиков паз необходимо располагать со стороны режущих зубьев протяжки.

Шейка является вспомогательным элементом, связывающим хвостовик направляющей и рабочей частью протяжки. Диаметр шейки d_2 на 1 мм мень-

ше диаметра хвостовика, а длина ее зависит от толщины стола и опорного кольца протяжного станка, $l_2 = l_{\text{ст}} - l_3 + (2-5) \text{ мм}$.

Переходной конус (часть длиной l_3) облегчает направление заготовки или протяжки в момент входа направляющей части в отверстие. Его шлифуют, длина $l_3 = 10-25 \text{ мм}$ с учетом диаметра протяжки.

Направляющая часть (часть длиной l_4) служит для центрирования оси заготовки относительно оси протяжки, а также исключает перекося заготовки на протяжке. Форма направляющей части должна соответствовать форме предварительно подготовленного отверстия. Диаметр направляющей части равен наименьшему диаметру подготовленного отверстия, т.е. $d_4 = d_{\text{0min}}$. Допуск на погрешность изготовления принимается по посадке $f7$. Длину направляющей части делают равной от 0,75 до 1 длины обрабатываемого отверстия.

Режущая часть протяжки является основной, которая срезает необходимый слой металла в заготовке. Она состоит из черновых, получистовых и чистовых зубьев.

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, показана на рис. 4.5, 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_x стружечной канавки, ширины b спинки (задней поверхности) зуба, переднего γ и заднего α углов; основание канавки делают в форме дуги радиусом r_x . Передний угол γ должен обеспечить хорошие условия резания и стружкообразования, при обработке заготовки из стали $\gamma = 10-20^\circ$, из чугуна $\gamma = 5-8^\circ$; ширина b зуба увеличивается от вершины к основанию. У внутренних протяжек угол α небольшой ($2-3^\circ$). Это необходимо для небольшого изменения положения режущих кромок при переточках протяжек (переточка производится по передней поверхности); у наружных протяжек $\alpha = 10^\circ$. Прочность зубьев должна быть достаточной не только у новой, но и у переточенной протяжки к концу эксплуатации. Спинку делают или прямолинейной под углом ζ до $35-45^\circ$ к перпендикуляру к оси протяжки (см. рис. 4.5, а), или по форме балки равного сопротивления круговой вогнутой формы с радиусом $R_x = 1,6h_x$ (см. рис. 4.5, б) для увеличения рабочего пространства для размещения стружки.

В некоторых случаях канавки делают удлиненной формы (см. рис. 4.5, в), например, при обработке отверстий, прерывистых по длине, или при необходимости увеличения шага зубьев протяжки для уменьшения силы резания и

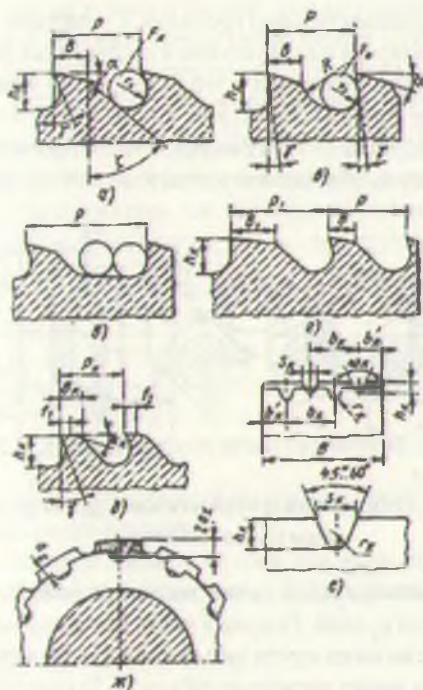


Рис. 4.5. Зубья и стружечные канавки протяжек
(а – д), стружкоразделительные канавки (е, ж)

выравнивания размера тела протяжки и увеличения диаметра опасного сечения. Для протягивания 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 оси протяжки. 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 добавочное деформирование зубьев и тела протяжки.

Большое значение при проектировании протяжек имеет схема резания. Под схемой резания при протягивании понимают картину постепенного изменения формы и размеров обрабатываемого отверстия или способ распределе-

ния работы между режущими зубьями протяжки. Существует две схемы резания при протягивании: одинарная или групповая и переменного резания (рис. 4.6).

Одинарная или обычная схема – это схема, когда каждый режущий зуб срезает широкий b , но тонкий a слой (рис. 4.6,а). В этом случае диаметр или высота каждого последующего зуба режущей части протяжки больше предыдущего на определенную, обычно постоянную величину, равную $2a$ или a .

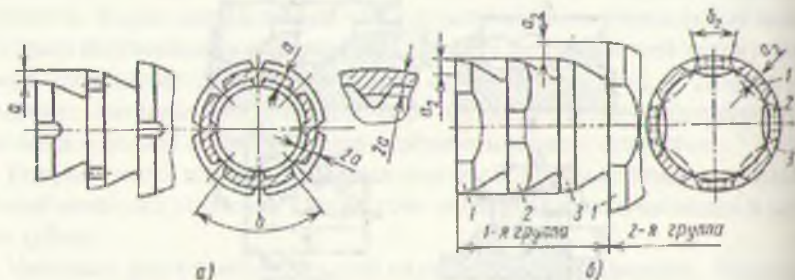


Рис. 4.6. Одинарная и переменная схемы резания при протягивании

Схема переменного резания такая, когда каждый режущий зуб создает короткий b_i , но толстый a_i слой. Режущая часть протяжки конструируется так, что она состоит из нескольких групп зубьев разного диаметра или разной высоты, а каждая группа имеет несколько зубьев (2-5) одного диаметра или одной высоты (рис. 4.6,б). Здесь цифрами 1 – 3 обозначены режущие зубья одной группы, лежащие на одном диаметре, кроме последнего, т.е. третьего. Срезаемые слои с параметрами a_i и b_i обозначены соответственно такими же цифрами.

Выкружки на зубьях делаются так, чтобы площадь, срезаемая каждым зубом данной группы, была одинаковая. Последний зуб третьей группы без выкружки, сплошной. Он срезает слои не сплошь по всей окружности, а то, что осталось не срезанным первыми двумя зубьями (на рисунке не заштрихованный слой). Его диаметр на 0,02 – 0,04 мм меньше диаметра предыдущих зубьев данной группы. Делается это для того, чтобы исключить резание зубом по всей длине окружности. Такое явление может возникнуть при уменьшении диаметра отверстия за счет упругих деформаций после прохода предыдущих зубьев этой группы.

Формообразование профиля отверстия по схеме переменного резания последовательным или генераторным методом, при котором контур поверхности формируется по участкам последовательно режущими кромками различных зубьев.

При одинарной схеме резания поверхность образуется, как правило, методом подобия или профильным, когда контур режущей кромки каждого зуба подобен профилю окончательно обработанного отверстия (поверхности).

Чем больше число зубьев в группе, тем круговые вырезы получаются более длинными и глубокими. Когда число зубьев в группе больше трех, то вырезы можно заменить плоскостями. Тогда каждый зуб в группе, кроме последнего, будет представлять собой многогранник, повернутый относительно другого на некоторый угол (рис. 4.7). Для $z_c=4$ угол $\theta=30^\circ$. Такие многогранные зубья легче изготовить, их плоскости шлифуются напроход. На последнем зубе группы лыска не снимается. Он остается круглым, но срезает площадь такую же, как и каждый предыдущий зуб данной группы.

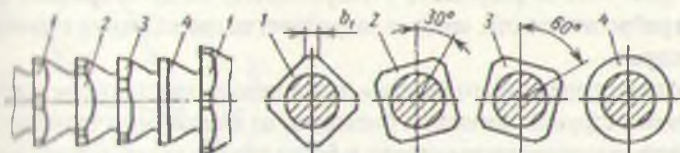


Рис. 4.7. Многогранные зубья групповой протяжки

Протяжки переменного резания имеют ряд преимуществ по сравнению с протяжками одинарного резания.

Чем больше толщина срезаемого слоя, тем меньше давление резания. Зависимость между толщиной срезаемого слоя и давлением показана на рис. 4.8.

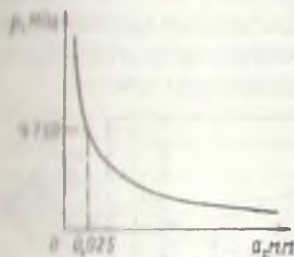


Рис. 4.8. Зависимость давления резания от толщины срезаемого слоя

Давление резания резко возрастает при толщине срезаемого слоя $a < 0,025$ мм. Такая толщина срезаемого слоя принимается при обработке отверстий из стали круглыми протяжками одинарного резания. Толщина срезаемого слоя протяжками переменного резания в несколько раз больше. Следовательно, давление резания будет значительно меньше, чем при работе протяжками одинарного резания.

При равной площади сечения срезаемого слоя протяжки переменного резания будут создавать меньшие силы резания или при одинаковой силе ими можно резать большую площадь. Конструктивно это скажется на уменьшении числа режущих зубьев, а следовательно и длины протяжки.

Одинарные протяжки срезают тонкие слои, но большей ширины. При обработке отверстий образующуюся дугообразную стружку большей ширины трудно деформировать в кольцевой виток. Такой виток получается недо-

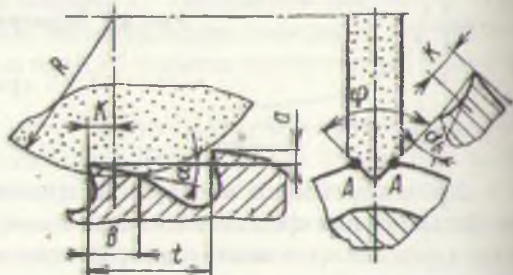
статочно плотным, он требует большего объема канавки для своего размещения. Поэтому увеличивается шаг между режущими зубьями, а следовательно и ее длина.

Для лучшего свертывания стружки ее ширину уменьшают путем прорезания на режущих кромках стружкоразделительных канавок, которые располагаются на соседних зубьях в шахматном порядке. Но в этом случае возникает определенный недостаток: канавки предыдущего зуба не срезают металл. В этом месте режущие кромки последующего зуба срезают двойную толщину слоя (см. рис. 4.6). В результате у укороченной, но дугообразной стружки создается ребро жесткости, которое затрудняет ее свертывание в плотный виток или спираль.

Протяжки переменного резания этого недостатка почти не имеют. Короткая прямая стружка, имеющая большую, но постоянную толщину, равномерно деформируется при завитии и более плотно укладывается во впадине между зубьями. От этого относительная длина шага между зубьями и длины режущей части протяжки уменьшается на 30%.

Стружкоразделительные канавки у протяжек одинарного резания наряду с положительными их функциями имеют существенный недостаток. Их прорезают дисковым кругом, ось которого перпендикулярна к оси протяжки. Протяжку в центрах устанавливают так, чтобы образовать задний угол на дне канавки, равный заднему углу на вершине зубьев. Для цельных круглых протяжек он обычно принимается $2 - 3^\circ$. В результате режущая кромка получается ломанной, ослабленной массивностью угловых участков (рис. 4.9).

Рис. 4.9. Схема образования и геометрия стружкоразделительных канавок



В окрестности точек А создается повышенная тепловая напряженность, что ведет к более интенсивному изнашиванию зубьев. Кроме того, боковые задние углы α_0 вспомогательных режущих кромок получаются очень малыми $\text{tg} \alpha_0 = \text{tg} \alpha \sin \phi / 2$, что также способствует более интенсивному изнашиванию угловых режущих кромок. Для уменьшения этого отрицательного влияния угол абразивного профиля ϕ для канавок необходимо принимать не менее $90 - 100^\circ$.

Для правильного образования канавок по всей ширине зуба протяжки размер К должен быть равен размеру В. В ряде случаев это сделать невозможно, так как круг может коснуться и срезать кромку следующего зуба. Когда $K < B$, то, начиная от оси круга вправо, в канавках образуются отрицательные

задние углы по всему контуру. Это еще больше усиливает отрицательное влияние стружкоразделительных канавок на режущие свойства протяжек.

Протяжки переменного резания почти не имеют этих недостатков. Масштабность вершин зубьев у них больше. У многогранных зубьев задние углы по всему контуру равны α , а зубья с выкружками затачиваются по задней поверхности так, как показано на рис. 4.10.



Рис. 4.10. Схема заточки выкружки на зубе протяжки

Здесь ось конического круга и ось протяжки лежат в одной плоскости. Благодаря задним углам на выкружке получаются почти такими же, как и основной задний угол $\alpha = 3 - 4^\circ$. В результате стойкость протяжек группового резания получается в два раза выше стойкости протяжек одинарного резания.

Толщина срезаемого слоя протяжками переменного резания в 5 – 8 раз больше толщины срезаемого слоя протяжками одинарного резания. Поэтому ими можно в ряде случаев обрабатывать отверстия, полученные после литья,ковки или штамповки. При этом режущие кромки не будут работать по корке в результате большой толщины среза.

Благодаря перечисленным преимуществам протяжки переменного резания являются более прогрессивными инструментами и все больше применяются в машиностроении.

4.3. Расчет протяжек

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 наибольшей длины протяжки и соответствия этой длины длине хода ползуна продольного станка, возможности изготовления протяжки; 2) исполнительные размеры калибрующих зубьев, обеспечивающие требуемые параметры обработанных поверхностей.

Расчет и конструктивные элементы протяжки взаимосвязаны и взаимо-

зависимы. Это многовариантная задача, решать которую нужно с точки зрения обеспечения условий оптимизации конструкции.

Предварительно определяется шаг зубьев протяжки

$$p = Q\sqrt{l_{\text{заг}}} \quad (4.1)$$

При одинарной схеме резания $Q=1,25-1,5$, при групповой (переменной) схеме $Q=1,45-1,9$.

Величину шага корректируют при дальнейшем расчете.

Число одновременно участвующих в резании зубьев

$$Z = l_{\text{заг}}/p. \quad (4.2)$$

В общем случае z_1 получается дробным. В процессе рабочего хода протяжки z_1 изменяется: при выходе одного зуба из контакта с заготовкой z_1 уменьшается до меньшего целого числа и при входе следующего зуба в заготовку z_1 увеличивается до большего целого числа. Расчет протяжки следует вести по максимальной силе, т.е. учитывать наибольшее целое число z_1 . Для более равномерной и полной загрузки протяжки и протяжного станка z_1 должно быть возможно ближе к большему целому числу, но не равно ему, поэтому уточняют

$$P = l_{\text{заг}}/(z_1 + 0,1) \quad (4.3)$$

Полученное значение p согласовывают с установленным нормализованным рядом для шагов. Во избежание возможности появления вибраций при работе протяжки шаг зубьев рекомендуется делать неравномерным с отклонением $\pm 0,5$ мм.

При расчете канавки предварительно устанавливают $h_k = (0,35-0,4)p$, $b = (0,3-0,35)p$, $r_k = (0,5-0,55)h_k$, $R_n = (0,65-0,8)p$; эти размеры уточняют при дальнейшем расчете. Форма и размеры канавки должны обеспечить размещение в ней стружки, срезаемой за один 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 $F_{\text{с.с.}} = a l_{\text{заг}}$, активная площадь канавки

$$F_k = 0,25\pi h_k^2.$$

$$\text{Коэффициент } k = \frac{F_k}{F_{\text{с.с.}}} = \frac{0,25\pi h_k^2}{a l_{\text{заг}}} \quad (4.4)$$

Коэффициент k называют коэффициентом заполнения стружечной канавки. Он всегда больше единицы. Он определяется экспериментально и зависит от свойств обрабатываемого материала, толщины среза, износа протяжки и т.п. При обработке заготовок из стали $k=3-4$, из чугуна $k=2,5$.

Допустимая толщина срезаемого слоя, исходя из размеров стружечной

$$\text{канавки} \quad a_2 = \frac{0,25\pi h_k^2}{k l_{\text{заг}}} \quad (4.5)$$

Толщина a_x срезаемого слоя, равная подъему на зуб C_p , ограничена условиями резания и стружкоформирования и корректируется расчетными зависимостями.

Сила резания при протягивании, H

$$P = C_p a_x^x \sum B_z K_\gamma K_{\text{см}} K_u \quad (4.6)$$

где C_p – коэффициент, учитывающий материал заготовки и форму режущей кромки; при обработке заготовок из углеродистой конструкционной стали $C_p = 700-800$ МПа для круглой протяжки $C_p = 2430$, для шлицевой $C_p = 2300$ и шпоночной $C_p = 2020$; x – показатель степени, $x = 0,85$; $\sum B$ – суммарная длина режущих кромок одного зуба, для круглых протяжек $\sum B = \pi d$, для шлицевых $\sum B = nB$, K_γ , $K_{\text{см}}$, K_u – коэффициенты, учитывающие влияние на силу резания соответственно значения переднего угла, смазывающе-охлаждающей жидкости, износа зубьев протяжки; при обработке заготовок из стали $K_\gamma = 1,13$; 1,0; 0,93; 0,85 соответственно при $\gamma = 5^\circ$, 10° , 15° и 20° ; $K_{\text{см}} = 1-1,5$ соответственно для острых и затупленных зубьев; $K_u = 0,9$, 1, 1,34 соответственно при применении в качестве СОЖ растительного масла, сульфорефолола или эмульсии и при отсутствии СОЖ.

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 шпоночника 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 определяют по формуле:

$$F_{\text{oc1}} = 0,25\pi(d_1 - 2h_k)^2 \quad (4.7)$$

где d_1 – диаметр первого зуба протяжки.

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

$$\sigma_p = P/F_{\text{oc}} \quad (4.8)$$

Возможная асимметричность сил резания, которая может возникнуть от различия в степени затупления отдельных участков режущих кромок, местного различия в свойствах материала заготовки и др. вызовет появление напряжений изгиба. Последние специально учитывают, но допускаемые напряжения $[\sigma]$ принимают с большим запасом; для протяжек из быстрорежущей

стали $[\sigma_p]=300-400$ МПа, а из легированных и углеродистых сталей $[\sigma_p]=250$ МПа. 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.

Длина режущей части протяжки:

$$L_6 = z_p p, \quad (4.9)$$

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

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

$$L_6 + l_7 = [z_p + (2-3)]p.$$

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

Длина рабочей части протяжки

$$L_5 = l_6 + l_7 + l_8 = [z_p + (2-3)]p + z_k p_k,$$

и общая длина протяжки

$$L = l^* + l_3 + l_4 + l_{10} \quad (4.10)$$

Общая длина протяжки должна быть согласована с длиной хода L_{ct} ползуна протяжного станка $L - l_1 < L_{ct}$ 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 состоит из двух-четырех протяжек, но иногда до 10 и более. В каждой протяжке комплекта делают рабочую и калибрующую части, хвостовики, переднее и заднее направления, т.е. полное конструктивное направление. 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.

Калибрующая часть протяжки предназначена для окончательного оформления обработанной поверхности детали. 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 каналов устанавливают в зависимости от их шага $P_k = (0,6-1,0)P$, 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 0,02 мм (от 0,2 до 0,6 мм). Этим обеспечивается возможность перехода калибрующих зубьев в режущие при переточки протяжки.

Протяжки изготавливают из быстрорежущих сталей Р6М5, Р18 и др. и из легированных сталей ХВГ, а также с режущей частью, оснащенной твердым сплавом.

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 показан на рис. 4.11.

Исходными являются форма и размеры требуемого отверстия, его длина, материал заготовки и размер предварительного отверстия под обработку, сила тяги P_d двигателя станка, материал протяжки и допускаемое напряжение на разрыв $[\sigma]$. Искомыми являются шаг зубьев p , высота канавки h , напряжение σ в опасных сечениях тела протяжки и сила протягивания P . Ограничивающими условиями являются наибольшая и наименьшая толщина срезаемого слоя $a = 0,02-0,12$ мм, число одновременно режущих зубьев $z = 3-6$, сила протягивания P , не превышающая тяговую силу $P_{ст}$ (обычно учитывают $0,8 - 0,9P_{ст}$, указанной в паспорте станка), напряжение в опасном сечении тела протяжки $\sigma_{кр}$, условия формирования и отвода стружки (коэффициент k).

Особенности проектирования шлицевых и эвольвентных протяжек

Шлицевые и эвольвентные протяжки являются сложными инструментами, которые служат для обработки соответствующих отверстий, т.е. многошлицевых и эвольвентных.

В основу проектирования многошлицевых и эвольвентных протяжек лежат те же принципы, что и для круглых протяжек. Они также проектируются и работают по одинарной и переменной схемам резания. Причем, протяжка может быть комбинированная, удаляющая припуск на цилиндрическом участке по внутреннему диаметру отверстия и формирующая шлицевые и эвольвентные пазы; протяжки изготавливают комплектно из двух-четырех штук, которые работают последовательно одна за другой.

Последовательность удаления припуска и способ образования отверстия могут быть разные. На рис. 4.12 показаны способы удаления припуска шлицевой протяжкой. Первый способ (рис. 4.12,а) рекомендуется для коротких отверстий.

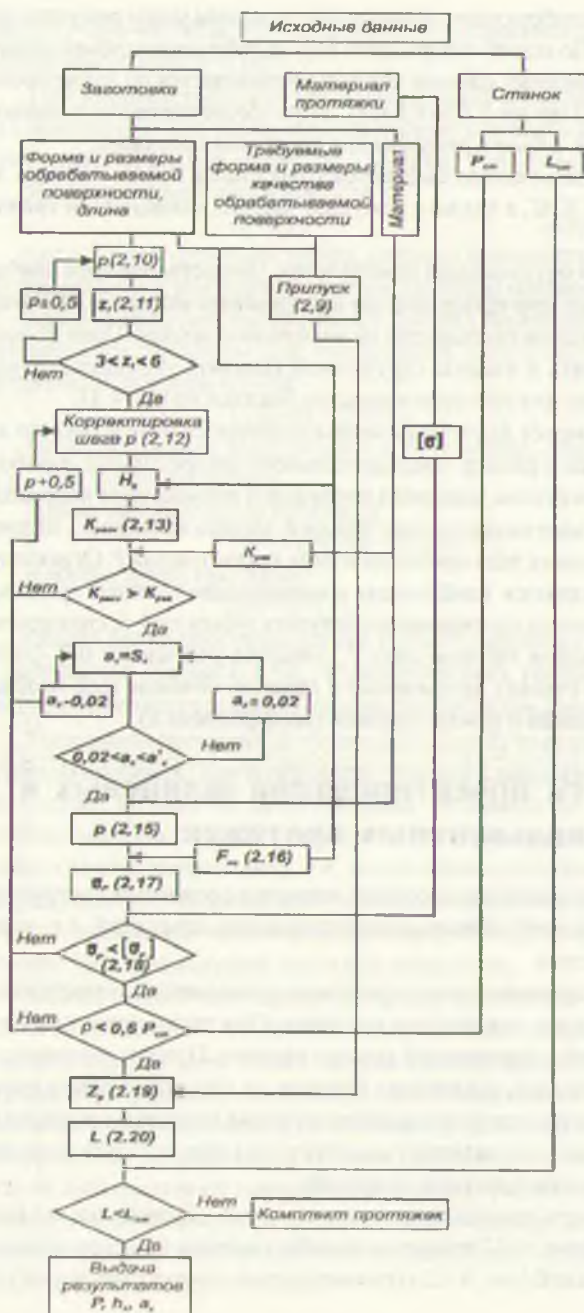


Рис. 4.11. Алгоритм определения шага и высоты стружечной канавки круглой проточки



Рис. 4.12. Способы удаления припуска шлицевыми протяжками

Сначала изготавливается цилиндрическое отверстие 1, затем прорезаются шлицевые впадины 2 и срезаются фаски 3 у основания шлицев. Впадина формируется постепенно путем последовательного срезания слоев каждым зубом или группой зубьев. По второму способу (рис. 4.12,б) сначала протяжка работает фасонными зубьями 1, затем образуются пазы 2 и в последнюю очередь протягивается цилиндрическое отверстие 3. Припуск получается разорванным по окружности, толщина срезаемого слоя может быть увеличена, протяжка становится короче. Этим способом рекомендуется удалять припуск для шлицевых отверстий длиной более 30 мм. Чтобы получить боковые стороны впадин ровными, последние чистовые зубья режущей части протяжки по всему контуру делаются полные, т.е. большей высоты и толщины. Размеры калибрующих зубьев будут равны размерам последнего чистового зуба.

Геометрия режущих зубьев шлицевой части протяжки такая же, как у одношпоночных протяжек (рис. 4.12,в). Для уменьшения трения на боковых сторонах зубьев делают поднутрение, образуемое вспомогательным углом в плане $\phi_1 = 1 - 2^\circ$. Поднутрение начинается не от вершины шлица, а ниже на расстоянии $f_0 = 0,8 - 1$ мм. У основания шлицевых зубьев протяжки делают продольные канавки шириной 1-2 мм, глубиной 0,8-1 мм с углом профиля 60° , которые необходимы для выхода шлифовального круга.

У черновых режущих зубьев протяжек одинарного резания, имеющих ширину b более 8-10 мм, делают стружкоразделительные канавки, расположенные в шахматном порядке от зуба к зубу. Их размеры такие же, как для цилиндрических протяжек. Таким канавкам присущи те же недостатки, которые характерны для канавок круглых протяжек. Поэтому для многошлицевых протяжек также более целесообразной является переменная схема резания.

Каждая группа у них состоит из двух зубьев. Первый зуб в группе имеет плоские (рис. 4.13,а) или радиусные (рис. 4.13,б) фаски. Для шлицев шириной более 18 мм, кроме того, делают еще и выкружку посередине для лучшего разделения стружки (рис. 4.13,в).

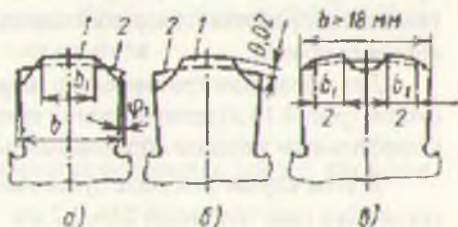


Рис. 4.13. Двухзубые секции шлицевых протяжек переменного резания

- Во всех случаях длина режущей кромки шлицевого зуба 1 в группе должна быть равна длине режущей кромки, участвующей в работе второго зуба 2, т.е. $b_1 = b_2 = b/2$. Зуб 2 в группе - сплошной, но его диаметр на 0,03 – 0,04 мм меньше диаметра зуба 1.

Для комплекта протяжек направляющая часть каждой последующей протяжки должна быть ребристее шлицевого или эвольвентного профиля. Внутренний диаметр ее равен внутреннему диаметру шлицевого отверстия с допуском по посадке f6 или f7. Наружный диаметр направляющей части берется на 0,1-0,2 мм меньше диаметра калибрующих зубьев предыдущей протяжки.

Эвольвентные протяжки служат для образования эвольвентных зубьев в отверстиях деталей, используемых в эвольвентно-шлицевых соединениях. Профиль зубьев протяжки рассчитывается так же, как профиль зубьев эвольвентного колеса.

Протяжки, имеющие модуль до 3 мм, работают по одинарной схеме резания. Протяжки больших размеров проектируют по переменной схеме резания. У них так же, как и у многошлицевых протяжек, каждая группа состоит из двух зубьев и имеет такой же способ деления стружки по длине.

4.4. Особенности наружных протяжек

Наружные протяжки применяют для обработки наружных поверхностей – плоскостей, пазов, зубьев колес, различных многогранных и радиусных поверхностей.

Особенностями наружных протяжек является их конструктивное решение, наличие больших задних углов и то, что они имеют только режущие и калибрующие зубья. Это объясняется тем, что они жестко закрепляются на ползуне протяжного станка, за счет чего обеспечивается их правильное взаимное положение относительно обрабатываемой детали. Поэтому наружные протяжки не нуждаются в других частях, присущих внутренним протяжкам.

При наружном протягивании так же, как и при внутреннем, в зависимости от размера и профиля обрабатываемой поверхности применяют одинарную и переменную схемы резания с профильным или последовательным методом образования поверхности. Наибольшее распространение имеют протяжки для обработки плоскостей или их сочленений, расположенных под различными углами.

Для обработки сравнительно широких плоскостей с наибольшим припуском (рис. 4.14,а) целесообразно применять протяжки одинарного резания с профильным методом образования поверхности.

В этом случае режущие зубья имеют стружкоразделительные канавки, срезающие слои толщиной 0,04-0,2 мм.

Узкие плоскости с большим припуском можно протягивать тоже по одинарной схеме резания, но генераторным, т.е. последовательным, методом (рис.

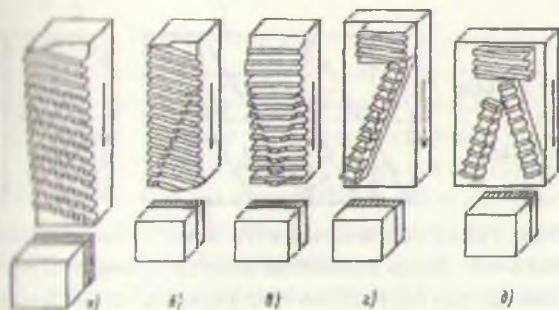


Рис. 4.14. Плоские наружные протяжки

4.14,б-д). Такие протяжки применяют для обработки заготовок, полученных послековки, штамповки, срезают боковыми кромками короткие, но толстые слои $\delta = 0,15-1,0$ мм.

Плоские протяжки могут быть цельные и составные. Протяжки с последовательным методом образования поверхности подразделяют на прямые (рис. 4.14,б,в) и наклонные (рис. 4.14,г,д). Каждый из них может быть односторонним (рис. 4.14,б,г) и двусторонним (рис. 4.14,в,д). Двусторонние протяжки являются более производительными, уравнивают боковые силы резания, но требуют и большей мощности станка.

Односторонние протяжки создают боковую силу резания, направленную перпендикулярно движению протяжки. Она увеличивается, когда зубья наклонены к направлению движения протяжки. Направление наклона зубьев должно быть такое, чтобы боковая сила резания прижимала протяжку к опорной поверхности, воспринималась жесткой опорой и более прочной частью обрабатываемой детали.

Угол β наклона зубьев к продольной оси протяжки составляет $60-85^\circ$. Желательно его делать таким, чтобы он удовлетворял условию равномерности протягивания. Это будет тогда, когда суммарная длина режущих кромок, накапливающихся в работе, а следовательно, и сила резания при протягивании постоянна. Условие выполняется, если поперечный шаг t_n зубьев протяжки кратен ширине обрабатываемой плоскости B (рис. 4.15).

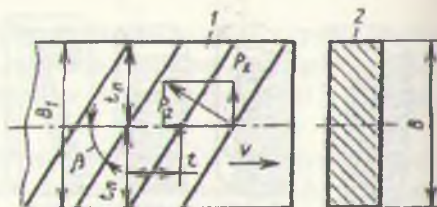
$$K = B/t_n, t_n = t/\lg \beta.$$

Принимая коэффициент равномерности K целым числом (2-3), необходимый угол наклона зубьев найдем из соотношения

$$\lg \beta = \frac{B}{K \cdot t}$$

где t – расчетный шаг зубьев, который определяется так же, как и для внутренних протяжек.

Рис. 4.15. Расположение зубьев
наружной протяжки:
1 — протяжка, 2 — деталь



Задние углы на режущих зубьях наружных протяжек могут быть больше, чем у внутренних, достигая $8-10^\circ$. Здесь изменение высоты зубьев при переточке не имеет того значения, как для внутренних протяжек, так как наружные протяжки могут регулироваться по высоте, т.е. по расположению относительно обрабатываемой поверхности.

Наружные протяжки также имеют две-три переходных (получистовой и чистовой) и четыре-шесть калибрующих зубьев, которые работают по профилю, т.е. они подобны контуру обрабатываемой поверхности.

Для обработки широких плоскостей более целесообразными являются протяжки с трапецидальной схемой резания, удаляющие припуск тремя группами зубьев (рис. 4.16). Первая группа зубьев последовательно прорезает трапецидальные впадины в заготовке, имеет разделенные зубья.

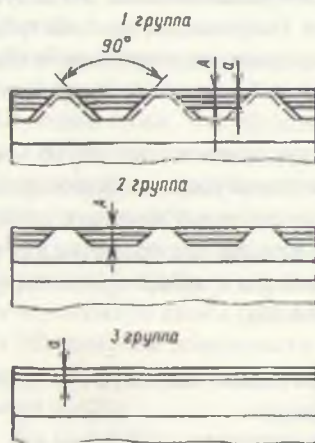


Рис. 4.16. Трапецидальная схема
резания плоскими наружными
протяжками

Вторая группа имеет сплошные зубья, но они срезают припуск не сплошь, а прерывисто в виде трапецидальных выступов, оставшимися не срезанными первой группой зубьев. Здесь также подъем происходит на каждый зуб. Вследствие такого разделения каждым участком одного зуба срезаются короткие, но толстые слои со всеми вытекающими отсюда преимуществами, присущими внутренним протяжкам переменного резания. Третья группа зубьев является чистовой и калибрующей, которая работает по обычной одинарной схеме резания. Наклон боковых режущих кромок у первой группы зубьев обычно делают под углом 45° . При заточке по задней поверхности на них создаются благоприятные задние углы.

Для обработки жаропрочных и коррозионно-стойких труднообрабатываемых сталей и сплавов применяют наружные протяжки, оснащенные твер-

лым сплавом. При протягивании пазов и нешироких плоскостей для зубьев используют стандартные твердосплавные пластины. Для сложных профилей деталей изготавливают фасонные твердосплавные пластины или секции. Пластины припаивают к корпусу или крепят клиньями с помощью винтов.

Для обработки наружных поверхностей сложного контура применяют наборы протяжек. Они представляют собой инструменты сборной конструкции, состоящие из корпуса, к которому прикрепляют отдельные протяжки, обрабатывающие соответствующие участки поверхности детали.

С учетом конкретных условий набор протяжек проектируется так, что в работу могут вступать отдельные протяжки последовательно, параллельно и параллельно-последовательно. При последовательном расположении секций получается малая сила P , можно обеспечить хорошие условия отвода стружки, обеспечивается 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 в корпусе. В секциях имеются рабочая и калибрующая части, форма и размеры зубьев которых аналогичны внутренним протяжкам.

Применяют разные способы крепления секций на плите (рис. 4.17):

винтами сверху через секцию, но при этом необходимо увеличение отклонения пазов, тела зубьев и длины секций (рис. 4.17,а); винтами снизу, но при этом для разборки и регулирования потребуется снимать протяжку со станка (рис. 4.17,б); боковыми винтами, но при этом необходимо свободное место в корпусе (на плите) (рис. 4.17,в); клиньями с наклонной поверхностью у секций, что потребует дополнительного расхода инструментального материала (рис. 4.17,г); клиньями с наклонной поверхностью на плите, что усложнит ее изготовление (рис. 4.17,д), и через промежуточную деталь (рис. 4.17,е).

Для регулирования рабочих размеров протяжки по высоте и ширине применяют продольные клинья (рис. 4.17,ж), положение которых регулируют винтами или подкладками.

Для восприятия силы протягивания за секциями в пазы инструментальной плиты устанавливают поперечные упоры (шпонки) (рис. 4.17,з,з). Инструментальную плиту крепят болтами на столе (ползуне) станка.

Зубья наружных протяжек оснащают пластинами из твердого сплава, пластины припаивают к зубьям секций (рис. 4.18,а), крепят с помощью продольных (рис. 4.18,б,в) и поперечных (рис. 4.18,г) клиньев или припаивают к регулируемым вставкам (рис. 4.18, д).

В массовом и крупносерийном производстве широко применяют метод непрерывного протягивания, отличающийся высокой производительностью. На рис. 4.19. показан способ непрерывного протягивания коромысла 2 в клановидной гидросистеме, неподвижно закреплённой призматической протяжкой 1.

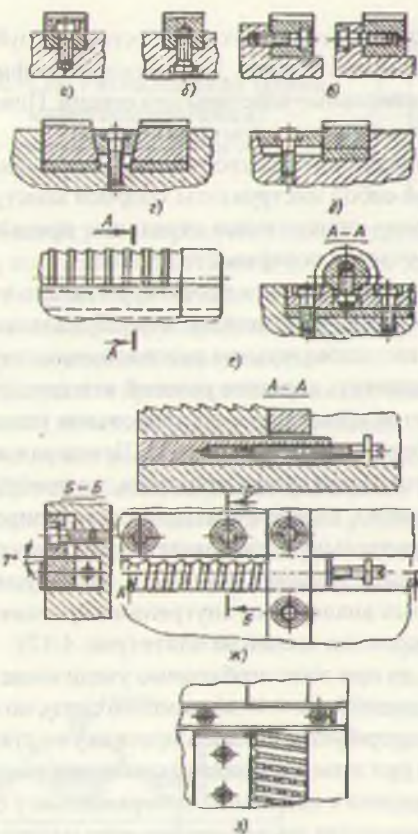
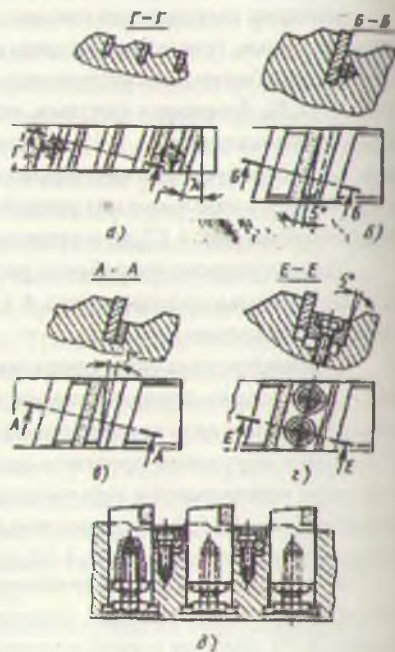


Рис. 4.17. Виды креплений и регулирования секций наружных протяжек

Рис.4.18. Крепление твёрдосплавных пластин и вставок в секциях наружных протяжек



Обрабатываемую деталь устанавливают в приспособлении – спутнике 3, которое закрепляют на конвейере непрерывного действия, получающим движение от привода 4. Загрузка и выгрузка деталей автоматизированы.

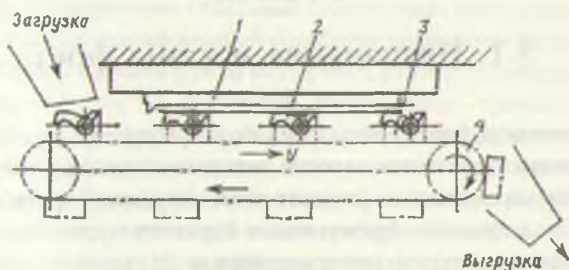


Рис.4.19. Непрерывный способ протягивания

Таким способом обычно обрабатывают небольшие детали. Для крупногабаритных деталей применяется способ непрерывного действия с транспортом, несущим режущие блоки протяжки.

Принцип протягивания и инструменты типа протяжек применяют и в других видах обработки, и в конструкциях инструментов, отличных от вышеописанных.

Контрольные вопросы

1. Укажите принцип работы протяжек, их конструктивные элементы и их назначение.
2. Укажите преимущества и недостатки круглой протяжки с групповой схемой резания по сравнению с протяжкой с одинарной схемой резания.
3. Обоснованно выберите схему резания протяжки для обработки шлицевого отверстия.
4. Укажите пути экономии инструментальной стали при проектировании протяжек для круглых отверстий.
5. Как уменьшить напряжение на разрыв в теле протяжки для обработки отверстия диаметром 10 мм и длиной $L=30$ мм?
6. Укажите методы крепления и регулирования секций наружной протяжки для обработки детали сложной формы.

Глава 5.

ФРЕЗЫ

5.1. Назначение и типы фрез

Фрезерование является одним из наиболее распространенных методов обработки. По уровню производительности оно превосходит строгание и в условиях крупносерийного производства уступает лишь наружному протягиванию.

Кинематика процесса фрезерования характеризуется быстрым вращением инструмента вокруг его оси и медленным движением подачи.

Фреза – многолезвийный вращающийся режущий инструмент, зубья которого последовательно вступают в контакт с обрабатываемой поверхностью в процессе резания. Относительная медленная подача производится движением обрабатываемой детали, закрепленной на столе фрезерного станка.

В зависимости от вида обрабатываемой поверхности равномерное движение подачи 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.

Фрезы отличаются большим разнообразием типов, форм и назначения как стандартных (рис.5.1), используемых на универсальных и общего назначения фрезерных станках, так и специальных, проектируемых для обработки конкретных деталей.

Классифицируются фрезы по следующим показателям. По расположению зубьев относительно оси: фрезы цилиндрические с зубьями, расположенными на поверхности цилиндра (рис.5.1, а); фрезы торцевые с зубьями, расположенными на торце цилиндра (рис.5.1, б); фрезы угловые с зубьями, расположенными на конусе (рис.5.1, в); фрезы фасонные с зубьями, расположенными на поверхности с фасонной образующей (рис.5.1, г). Некоторые типы фрез имеют зубья как на цилиндрической, так и на торцевой поверхности, например, дисковые двух – и трехсторонние (рис.5.1, д), концевые (рис.5.1, е), шпоночные (рис.5.1, ж, з).

По направлению зубьев фрезы могут быть прямозубыми (рис.5.1, д), в которых направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и перпендикулярна направлению скорости главного движения резания; косозубые (рис.5.1, г), у которых направляющая линия передней поверхности лезвия прямолинейна и наклонена под углом к направлению скорости главного движения резания; с винтовым зубом ((рис.5.1, а), в которых направляющая линия передней поверхности является винтовой.

По конструкции фрезы могут быть цельными; составными, например, с притаченными или приклеенными режущими элементами; сборными, например, оснащенными многогранными пластинами из твердого сплава; наборными, состоящими из нескольких отдельных стандартных или специальных фрез и предназначенных для одновременной обработки нескольких поверхностей.

По конструкции зубьев фрезы могут быть с остро заточенными (рис. 5.1, б) и затылованными (рис. 5.1, к) зубьями. Затылование — процесс образования задней поверхности инструмента по некоторой кривой (обычно спираль Архимеда) для получения задних углов. У остро заточенных фрез задние углы получают заточкой. Фрезы работают с малыми подачами на зуб, поэтому их заточивание происходит по задней поверхности, и затачивать их целесообразно по задней поверхности. По задней поверхности затачивают остро заточенные фрезы. Однако такую заточку не всегда возможно и не всегда целесообразно выполнять. Форма производящей поверхности может быть сложной, предоставляющей возможность заточки задней поверхности зуба шлифовальным кругом. Нецелесообразно производить заточку задней поверхности у фрез с сложным 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 поверхности, что обеспечивает ее простоту.

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

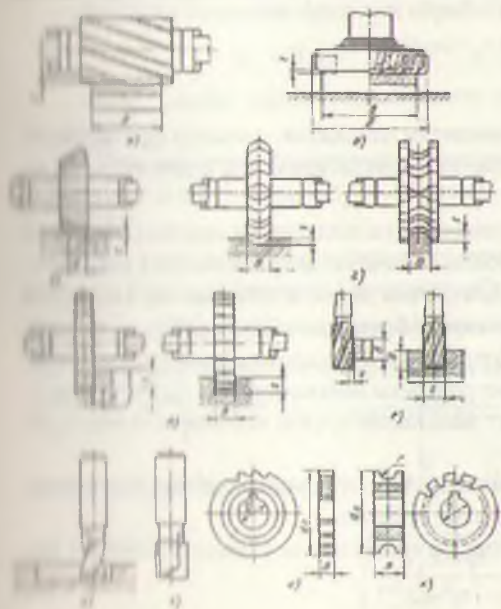


Рис. 5.1. Типы фрез и обрабатываемых поверхностей

5.2. Конструктивные элементы фрез с острозаточенными зубьями

Все типы острозаточенных фрез, несмотря на их многообразие, имеют много общего в методике расчета, назначении и оформлении конструктивных элементов (рис.5.2).

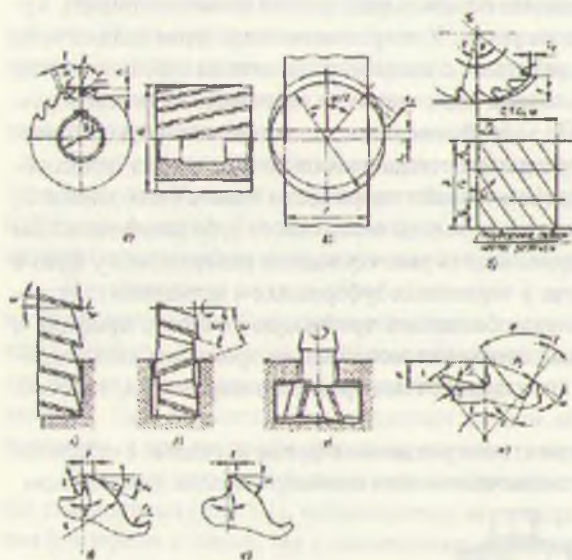


Рис.5.2. Конструктивные элементы острозаточенных фрез

К общим конструктивным элементам относятся: диаметр фрезы, посадочные размеры (диаметр отверстия, шпоночная канавка), число зубьев и их форма.

Диаметр фрезы оказывает существенное влияние на процесс резания и режущие свойства инструмента. Фрезы большого диаметра имеют увеличенное число зубьев, лучшие условия для отвода тепла, возрастает дуга контактирования зубьев с заготовкой. Всё это обеспечивает более спокойную работу и способствует повышению качества обработанной поверхности и стойкости инструмента. Однако с увеличением диаметра фрезы повышается расход материала, стоимость инструмента, возрастает машинное время, что снижает производительность.

Взаимный учет рассматриваемых противоречивых тенденций приводит к выбору оптимального наружного диаметра фрезы.

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

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

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 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. Ее деформация зависит от расстояния l , в мм, между опорами, ширины фрезерования B , мм, глубины резания t , мм, и подачи на зуб S_z , мм. Подача на зуб B зависит от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности. С учетом изложенного, диаметр цилиндрических фрез:

$$d_a = 0,2B^{0,26} t^{0,09} S_z^{0,06} l^{0,78} \delta^{-0,26} \quad (5.1)$$

Наружный диаметр дисковых фрез:

$$d_a = 0,12B^{0,25} t^{0,09} S_z^{0,055} l^{0,78} \delta^{-0,25} + 2(t' + \Delta) \quad (5.2),$$

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

Диаметр концевых фрез при обработке уступов и плоскостей:

$$d_a = 0,4B^{0,2} t^{0,175} S_z^{0,14} z^{0,2} l_1^{0,62} \delta^{-0,2} \quad (5.3)$$

где l_1 – вылет фрезы относительно шпинделя. Число зубьев z следует выбирать.

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

При выборе диаметра торцевых фрез необходимо учитывать, что при заданной ширине t заготовки врезание зуба должно происходить при толщине среза $\sigma_s = S_z \cos \frac{\psi}{2} \sin \varphi$, где ψ – угол контакта фрезы с заготовкой; φ – угол лезвия фрезы в плане. Учитывая, что $\cos \frac{\psi}{2} = \sqrt{1 - t^2 / d_a^2}$ при $\alpha_x=0$, получим:

$$d_a = \sqrt{\frac{S_z \sin \varphi^2}{S_z^2 \sin^2 \varphi - \rho^2}} \quad (5.4)$$

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

Рассчитанные диаметры фрез округляют до ближайших стандартных размеров.

Диаметр посадочного отверстия: $D_0 = d / 2,25$ (5.5)

с округлением до стандартного размера. При расчете диаметра посадочного отверстия дисковых фрез из формулы (5.2) можно исключить слагаемое $2(t' + \Delta)$.

У фрез для обработки заготовок из стали и чугуна задний угол

$$\sin \alpha = 0,13 / a_{\max}^{0,3} \quad (5.6)$$

где $a_{\max}$ - максимальная толщина среза, мм, $a_{\max} = S \sin \varphi$.

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

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. 5.2, в) для улучшения равномерности фрезерования, т.е.:

$$z = 360k / \psi \quad (5.7)$$

где k - коэффициент равномерности фрезерования, ψ - угол контакти фрезы с заготовкой, $\cos \psi = 1 - 2t/d_s$.

Равномерность фрезерования можно улучшить, если зубья располагать не параллельно оси фрезы, а под углом (θ) $= 10 - 15^\circ$. Для дисковых двусторонних фрез направление наклона зубьев должно быть односторонним (рис. 5.2, 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. 5.2, 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. 5.2, е).

Для цилиндрических фрез равномерность фрезерования достигается применением винтовых зубьев с углом наклона (ω), обеспечивающим постоянство сечения срезаемой стружки в каждый момент времени (рис. 5.2, в). Это условие выполняется, если по ширине фрезерования размещается целое число шагов $P_0 = P_t \operatorname{ctg} \omega$, где $P_t = \pi d_s / z$ - окружной шаг зубьев. Угол наклона зубьев

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{Bz}{\pi d_s k} \quad (5.8)$$

где k - коэффициент равномерности фрезерования, для фрез с винтовым зубом равен целому числу.

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

Увеличение кинематических передних углов φ фрез с винтовым зубом позволяет назначать меньшие значения передних углов в нормальном сечении, что повышает прочность зуба, позволяет увеличить в 1,5-2 раза подачу на зуб.

Число зубьев должно быть по возможности наибольшим. Чем больше зубьев, тем при прочих равных условиях большее число зубьев находится в контакте с заготовкой в процессе резания, тем больше суммарная длина режущих кромок, одновременно участвующих в работе, тем выше производительность процесса или же при неизменной производительности уменьшается подача на каждый зуб. Вследствие этого уменьшается шероховатость обработанной поверхности.

Однако возможность увеличения числа зубьев фрез ограничивается прочностью зуба и числом его переточек, необходимым объемом канавок для удаления стружки, конструкцией его крепления в корпусе (для сборных фрез). С учетом этого при проектировании стандартных фрез для черновой обработки число зубьев:

$$z = \frac{C_z d_a}{\sqrt{t} S_z}, \quad (5.9)$$

где $C_z=0,2$ – для цилиндрических и дисковых фрез, $C_z=0,6$ – для торцевых фрез.

Для стандартных фрез для чистовой обработки всех типов число зубьев $z = d_a / (4x_1)$, где i – число переточек до полной амортизации фрезы; $x_1=0,15-0,25$ 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, дисковых и прорезных фрез:

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}}}{3,5 \times 10^{-5} t^{0,86} n B S_z^{0,72} d_a^{0,14}} \quad (5.10)$$

Торцевых фрез:

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{эф}} d_a^{0,1}}{4,22 \times 10^{-5} t^{0,95} n B^{1,1} S_z^{0,8}} \quad (5.11)$$

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

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{ф}}}{2,57 \times 10^{-5} t^{0,9} B^{1,14} n S_z^{0,72}} \quad (5.12)$$

Торцевых фрез:

$$z_{\max} = \frac{N_{\text{ф}} d_a^{0,14}}{2,57 \times 10^{-5} t^{0,9} B^{1,14} n S_z^{0,72}} \quad (5.13)$$

где $N_{\text{ф}}$ - эффективная мощность станка, $N_{\text{ф}} = N\eta$, здесь N - мощность главного двигателя; $\eta = 0,75$ - к.п.д. станка.

Форма и геометрия зубьев фрезы должны обеспечивать достаточной прочностью, максимально возможное число переточек и достаточное пространство для размещения стружки.

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 $P_T > 10$ мм. Их применяют в тех случаях, когда $tS_z > 1$, где t - глубина фрезерования, мм; S_z - подача на зуб, мм. При чистовом фрезеровании заготовок из стали применяют фрезы с торцевым шагом зубьев $P_T \leq 10$, называемые фрезами с мелким зубом. Их применяют в тех случаях, когда $tS_z \leq 1$.

В зависимости от шага применяют три типа профилей зубьев. Для фрез с мелким зубом принята трапециевидальная форма профиля (рис.5.2, ж). Угол тела зубьев $\eta = 47-52^\circ$. Угол стружечной канавки $\theta = \eta + \epsilon$, где $\epsilon = 360/z$ - угловой шаг зубьев. Ширина вершины зуба $f = 0,5-2$ мм, а радиус закругления дна впадины $r_f = 0,5-2$ мм, что исключает образование трещины при термической обработки. Высота зуба $H = 0,5-0,65$ окружного шага зубьев P_T .

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

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

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.5.2, з), либо двухугловой (рис.5.2, 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 дна впадины $r_f = (0,4-0,75)H$, а радиус закругления спинки зуба $R = (0,3-0,75)da$.

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

Формализация конструктивных элементов, рассмотренных выше данных и формул, позволяет рассчитывать параметры фрезы на ЭВМ. На рис.5.3 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 максимально и минимально допустимых. Если в результате расчета получен диаметр меньше минимального 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 округления его до стандартных размеров.

Блоки 15-20 позволяют выбрать число зубьев и угол наклона зубьев с учетом равномерности фрезерования.

Блоки 21-27 позволяют выбрать форму зуба и впадины и рассчитать их конструктивные параметры.

Блоки 28-30 позволяют выбрать длину и геометрические параметры фрезы. Скорость резания и мощность станка рассчитывают в блоках 31-34.

5.3. Конструктивные особенности различных типов фрез

Концевые фрезы делают либо с цилиндрическим (диаметр 3-20 мм) хвостовиком, либо с конусом Морзе с резьбовым отверстием (диаметр 14-63 мм) (рис.5.4, 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.5.4, 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 (Рис.5.4, в).

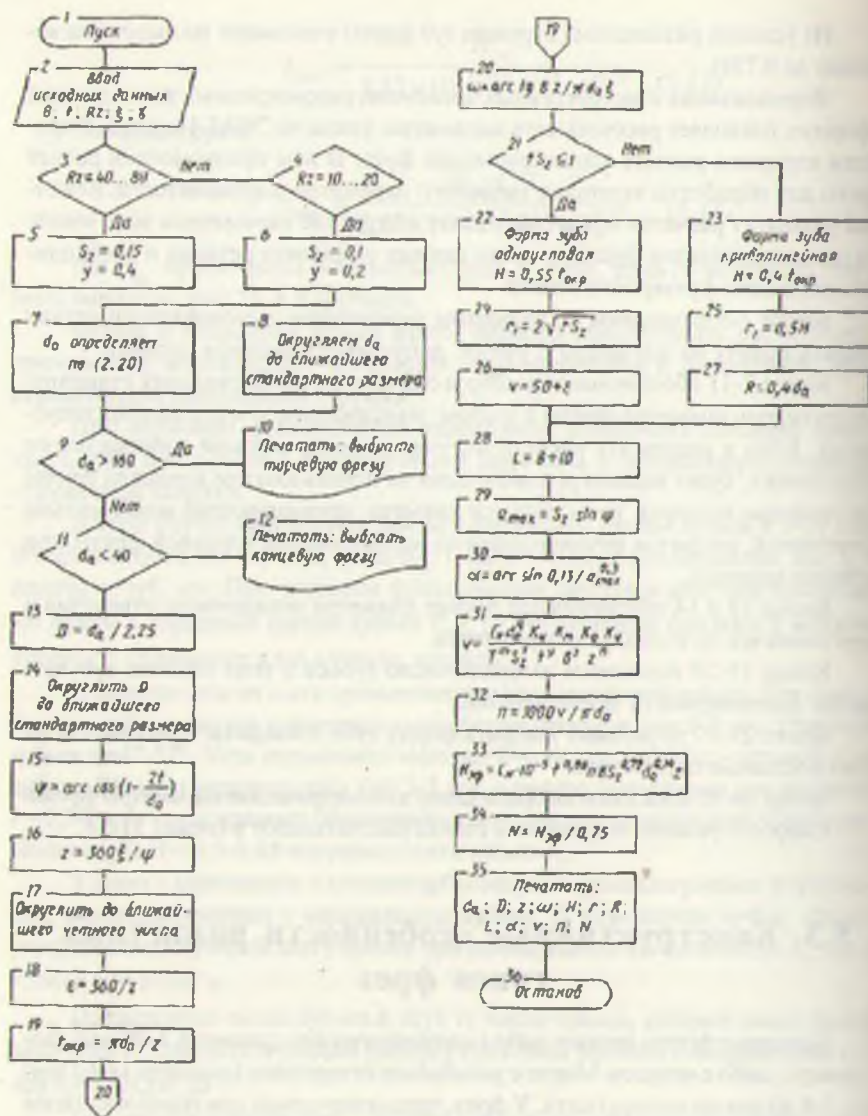


Рис. 5.3. Алгоритм расчета цилиндрических фрез

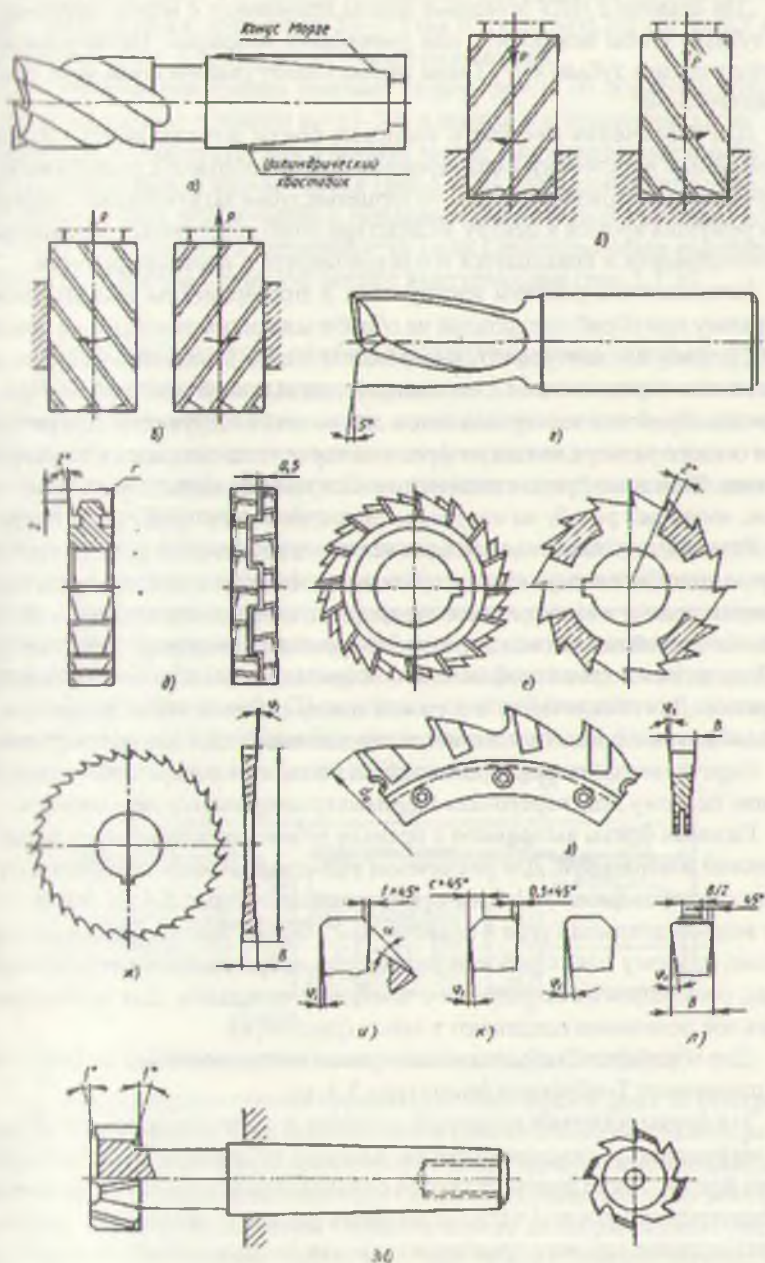


Рис. 5.4. Типы цельных фрез из быстрорежущих сталей

Для станков с ЧПУ концевые фрезы применяют с неравномерным шагом зубьев, чтобы исключить или уменьшить вибрации. Неравномерность окружного шага зубьев 4-6°. Такие фрезы имеют увеличенный угол наклона зубьев $\alpha=45-50^\circ$.

Для увеличения жесткости концевые фрезы должны иметь утолщение сердцевины к хвостовику. Если концевые фрезы работают с радиальным вращением при изготовлении пазов, то торцевые зубья затачиваются с поднутрением режущих кромок к центру. Вследствие этого облегчаются условия врезания инструмента и повышается его устойчивость в процессе резания.

Установочные размеры инструмента и его параметры закладываются в программу при обработке деталей на обрабатывающих центрах и на станках с ЧПУ. Поэтому для контурного фрезерования диаметр концевой фрезы должен быть вполне определенным и постоянным для заданной программы. При других видах обработки это справедливо и для вылета инструмента. Для регулирования осевого размера концевых фрез в их торце устанавливается регулировочный винт. Концевые фрезы с коническим хвостовиком закрепляют в переходной втулке, имеющей резьбу на наружном диаметре и регулировочную гайку.

Разновидностью концевых фрез являются шпоночные фрезы (рис.5.4, г), которые подобно сверлу могут углубляться в материал заготовки при осевом движении подачи и высверливать отверстие, а затем двигаться вдоль канавки. В момент осевой подачи основную работу резания выполняют торцевые кромки. Одна из них должна доходить до оси фрезы, чтобы обеспечить сверление отверстия. Для обеспечения жесткости длину рабочей части делают равной трем диаметрам фрезы при диаметре сердцевины до 0,3 диаметра фрезы.

Переточка таких фрез производится по задним поверхностям торцевых кромок, поэтому при переточках их диаметр сохраняется неизменным.

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.5.4, д), затем затачивают вспомогательный угол в плане $\varphi_1=1-2^\circ$. 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.5.4, е).

Для обработки Т-образных пазов, часто встречающихся в станкостроении, применяют Т-образные фрезы (рис.5.4, м).

Эти фрезы работают в тяжелых условиях и часто ломаются, что объясняется затрудненным отводом стружки. Каждый зуб работает два раза за один оборот фрезы. Такие фрезы делаются с разнонаправленными зубьями и имеют поднутрения с углом $\varphi=1^\circ 30'-2^\circ$ на обоих торцах. С целью улучшения условий размещения стружки производят заточку фасок на зубьях то с одного, то с другого торца под углом 30° и шириной 0,5 мм.

Фрезы прорезные и отрезные применяют для разрезки заготовок. Изготавливают их цельными, диаметром 20-315 мм и шириной 0,2-6 мм (рис. 5.4, ж) или сборными, (рис. 5.4, з), оснащенными сегментами.

Для уменьшения трения боковых сторон фрезы об обработанную поверхность их делают с углами $\varphi_1=15-30^\circ$, а иногда и с утонением диска. Для улучшения размещения стружки в канавке за счет уменьшения ширины стружки на вершинах зубьев делают фаски (рис. 5.4, и) или применяют групповую схему резания двух исполнений: с попеременной заточкой смежных зубьев (рис. 5.4, к) под углом 45° и шириной $s=B/3$ или с попеременным изменением ширины зуба. Причем, узкий зуб делают выступающим (рис. 5.4, л).

Конструктивные особенности твердосплавных фрез

Твердосплавные фрезы широко применяют в машиностроении, так как они обеспечивают резкое повышение производительности и возможность обработки современных конструкционных материалов.

Твердосплавные фрезы могут быть монолитные, т.е. полностью изготовленные из твердого сплава, и сборные.

Монолитные фрезы из твердого сплава изготавливают при помощи прессования в специальных пресс-формах, либо делают из пластифицированных заготовок. При применении пластифицированных заготовок их подвергают после прессования предварительному спеканию, а затем механической обработке резанием. После окончательного спекания фреза получает форму, близкую к готовому инструменту. Дальнейшая их обработка состоит из шлифовальных операций по обработке баз крепления, заточки и доводки зубьев. На рис. 5.5 показана концевая монолитная фреза из твердого сплава.

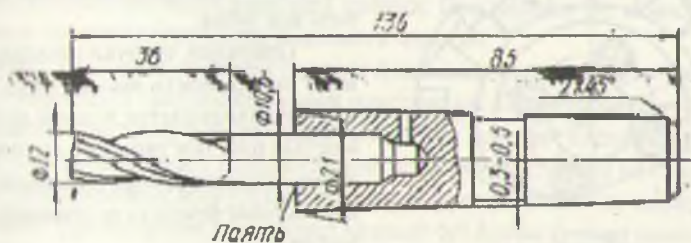


Рис.5.5. Монолитная концевая твердосплавная фреза

Основные конструктивные параметры таких фрез и фрез из быстрорежущей стали совпадают. Они изготавливаются сравнительно небольших размеров. Помимо концевых фрез, применяются также монолитные твердосплавные дисковые, пазовые, фасонные и др. Основным преимуществом этих фрез является возможность получения твердосплавного мелкоразмерного инструмента с достаточно большим числом винтовых зубьев и канавок значительной глубины, обеспечивающих хороший отвод стружки.

Наибольшее распространение в промышленности получили сборные твердосплавные фрезы. Фрезы относительно малых размеров изготавливаются в большинстве случаев с твердосплавными пластинами, припаянными непосредственно к корпусу (рис.5.6).

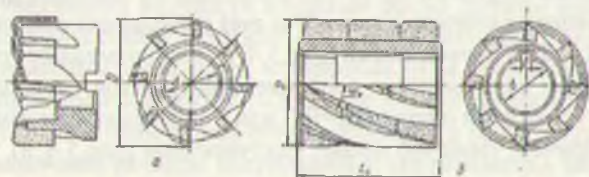


Рис.5.6. Фрезы с напаянными твердосплавными пластинами: а – торцевая фреза с призматическими пластинами; б – цилиндрическая фреза с винтовыми пластинами

Твердосплавные пластины могут иметь обычную призматическую форму (рис.5.6, а) либо быть винтовыми (рис.5.6, б). Пластины изготавливаются относительно небольшой длины и постоянной на всем протяжении толщины. Поэтому в тех случаях, когда необходимо иметь инструмент с длинными режущими кромками, на зубья фрез припаиваются несколько пластин. Стыки между пластинами оформляются в виде стружкоразделительных канавок и располагаются в шахматном порядке. Рассматриваемые фрезы с припаянными

к корпусу пластинами обладают тем недостатком, что при выкрашивании или большом износе одной или нескольких пластин приходится затачивать все зубья.

Операция заточки твердосплавного инструмента весьма трудоемка, что обуславливается плохой шлифуемостью пластин твердого сплава. Поэтому широкое распространение находят сборные фрезы со вставными ножами (рис.5.7).

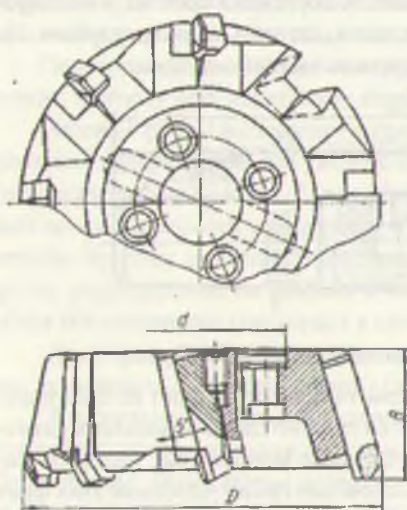


Рис. 5.7. Фреза с механическим креплением ножей

Ножи, оснащенные твердым сплавом, закрепляют в пазах корпуса инструмента. По своей конструкции ножи напоминают резцы с припаянными пластинами из твердого сплава. Предварительная заточка ножей может осуществляться отдельно от корпуса, а окончательная – в собранном виде.

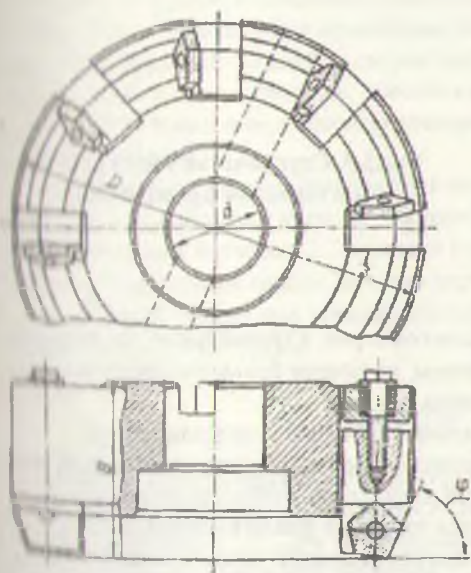


Рис. 5.8. Фрезы с круглыми и многогранными пластинами

В последнее время широкое распространение получили фрезы с механическим креплением многогранных или круглых непортативных пластинок твердого сплава. Такие фрезы просты в эксплуатации, обеспечивают повышение стойкости, сокращение затрат на инструмент. На рис. 5.8, а показана конструкция фрезы с механическим креплением непортативных твердосплавных круглых пластинок.

Фреза состоит из корпуса 1, кольца 2, вставных ножей 5 с запрессованными штифтами 3, на которых свободно сидят круглые пластинки 4. При ввертывании винтов 7 ножи перемещаются в осевом направлении, благодаря чему пластинки прижимаются к базовой поверхности корпуса. Для

удобства сборки пластинки предварительно прижимаются к корпусу прижимными 6. После износа пластинку поворачивают вокруг своей оси и вводят в работу неизношенную часть режущей кромки. При полном же износе режущих кромок производится смена комплекта пластин.

На рис. 5.8, б показана конструкция фрезы, оснащенная пятигранными непортативными твердосплавными пластинами. При износе одной из режущих граней пластинку поворачивают и в работу вступает следующая грань. Заменить или поворачивать пластинку можно непосредственно на станке.

Все рассмотренные конструкции торцевых фрез работают по схеме торцевого лобового фрезерования, по которой каждый зуб фрезы срезает одинаковую глубину. При черновой обработке с большой глубиной резания, когда $t=20-25$ мм, целесообразно применять фрезы со ступенчатой схемой фрезерования (рис. 5.9), где общая глубина фрезерования t распределяется между тремя зубьями.

Первый зуб удаляет $t_1=(0,5-0,6)t$, второй зуб $t_2=0,3t$ и третий, зачищающий, срезает $t_3=(0,1-0,2)t$. Вследствие этого каждый зуб срезает короткий, но более толстый слой a . Длина торцевой режущей кромки l каждого зуба в 1,2 раза больше подачи на зуб S_z .

Каждая ступень образуется отдельным зубом. Зубья в корпусе расположены так, что первый зуб лежит на наибольшем диаметре, но является самым



Рис.5.9. Ступенчатая схема резания при торцевом фрезеровании

высоким, т.е. имеет наименьший вылет от торца, а третий лежит на наименьшем радиусе, но является самым низким, имеющим больший торцевой вылет, следующая группа зубьев расположена так же.

Главный угол в плане $\phi=60^\circ$, вспомогательный угол в плане $\theta_1=15^\circ$.

Ступенчатая схема резания позволяет не только снимать большой припуск, но и снижать уровень вибраций и повышать стойкость инструмента.

Более прогрессивными являются торцевые фрезы со спирально-ступенчатой схемой резания (рис.5.10). Сущность ее состоит в еще большем разделении срезаемого припуска за счет образования большего числа ступеней каждым зубом фрезы.

Рис.5.10. Спирально-ступенчатое расположение зубьев торцевых фрез



Все черновые зубья 1-12 расположены по спирали Архимеда в радиальном направлении и их вершины равномерно смещены вдоль оси фрезы. В результате каждый зуб срезает короткий, но толстый слой. Второй ряд зубьев I-VIII концентричен и лежит в одной торцевой плоскости, выступающей по сравнению с последним черновым зубом.

Зубья этого ряда являются чистовыми, они снимают небольшой припуск и работают как зубья в обычных торцевых фрезах. В работе такие показывают результаты с большой глубиной резания, обеспечивают высокую производительность и низкую шероховатость обработанной поверхности, но они имеют более высокую стоимость изготовления и сложнее в эксплуатации.

Для чистового и тонкого фрезерования плоскостей деталей из закаленных сталей, чугуна и других хрупких материалов в настоящее время примени-

ют торцевые фрезы, оснащенные сверхтвердыми композиционными материалами. Фрезы, оснащенные композитом различных марок, обеспечивают возможность обработки сталей со скоростями резания от 80 до 200 м/мин, чугунов до 1000 м/мин. При этом, обеспечивается шероховатость поверхности $R_a = 1,25-0,63$ мкм и повышение производительности по сравнению со шлифованием в 2-4 раза.

Такие фрезы делают насадными и концевыми. На рис. 5.11 показана торцевая насадная фреза, у которой режущие элементы 3 из сверхтвердых материалов впаиваны в державки 2. Державки с лыской закрепляют в корпусе 1 втулкой 4 с клиновидным скосом, которая перемещается винтом 5.

Винты 6 служат для предварительной осевой регулировки положения державки в корпусе фрезы.

Наборы фрез

Набор фрез представляет собой группу фрез, подобранных по профилю и размерам обработанной поверхности детали и закрепленных на одной общей оправке (рис. 5.12). При этом, одновременно обрабатывается ряд поверхностей одной из нескольких заготовок. Сокращение числа операций, установок и переходов повышает производительность. Применение наборов фрез обеспечивает также более высокую точность и качество деталей по сравнению с обработкой отдельными фрезами.

При проектировании набора фрез задаются диаметром наименьшей фрезы, а диаметры других фрез определяются, исходя из размеров и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей. Следует по возможности избегать большой разницы в диаметрах фрез, так как в этом случае затруднительно обеспечить для всех фрез набора целесообразные режимы резания. Например, число оборотов оправки, выбранные в соответствии с принятой оптимальной скоростью резания для наименьшей по диаметру фрезы, не будет оптимальным для фрезы большего диаметра, если обе сравниваемые фрезы изготовлены из одного инструментального материала. В рассматриваемом

случае также трудно обеспечить размеры диаметров посадочных отверстий для всех фрез набора.

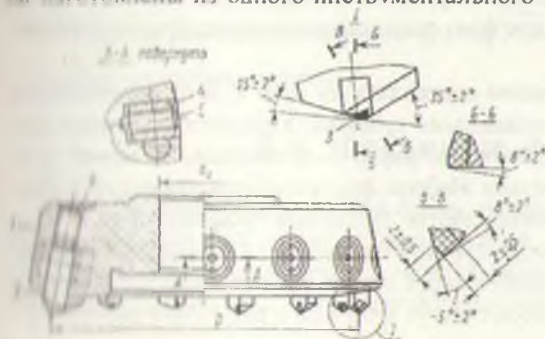


Рис. 5.11. Торцевая насадная фреза, оснащенная сверхтвердым материалом

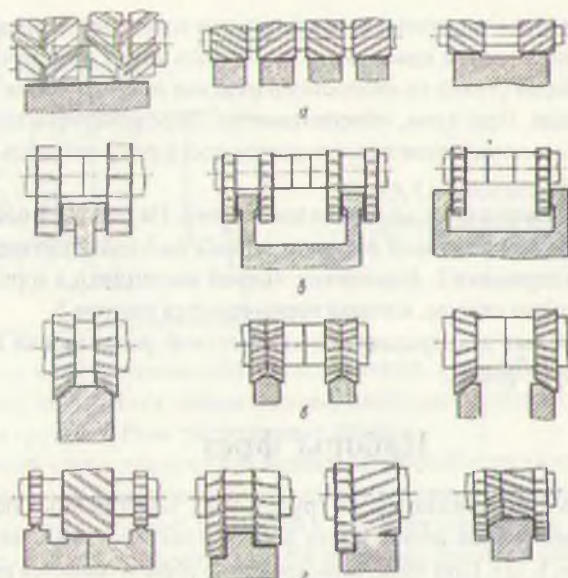


Рис.5.12. Схемы наборов фрез

Для расположения фрез на оправке и обеспечения при этом требуемого расстояния между ними пользуются установочными кольцами различной ширины. Кольца могут быть регулируемые и нерегулируемые. Регулируемые кольца позволяют без съема фрез с оправки менять расстояние между ними, что исключает необходимость применения точных жестких установочных колец.

Плавная работа набора фрез достигается специальной установкой зубьев фрез относительно друг друга. Для этого шпоночные канавки во фрезах располагаются так, чтобы они были смещены по отношению к зубу на разные углы. В результате этого зубья отдельных фрез входят в работу в различные моменты времени, и весь набор образует как бы одну фрезу с винтовым зубом. При изготовлении и переточках фрезы набора снабжаются второй шпоночной канавкой, которая у всех фрез располагается единообразно по отношению к зубу.

Наборы фрез целесообразно составлять из фрез с острозаточенными зубьями либо из фрез с затылованными зубьями. У разнотипных фрез при переточках их диаметры изменяются по различным законам, что может привести к искажению профиля детали. Наборы фрез используются как при обработке прерывистых, так и при обработке сплошных профилей детали. Для сплошных профилей необходимо перекрытие зубьев двух соседних фрез по избежание образования заусенцев и рисков на детали, восстановления осевых размеров профиля набора, которые могут меняться в результате переточек.

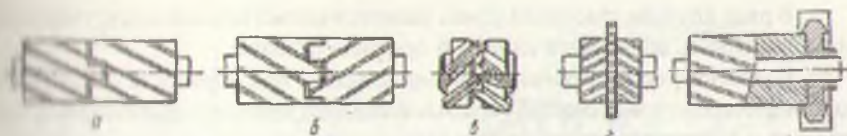


Рис.5.13. Способы перекрытия зубьев фрез набора

Перекрытие зубьев фрез набора может обеспечиваться различными способами (рис. 5.13) с помощью торцевых кулачковых выступов (рис.5.13, а, б), соответствующих пазов соседней фрезы; наклонных торцевых плоскостей соприкасающихся фрез; расположения выступающих из корпуса зубьев сборной фрезы во впадинах сопряженной фрезы (рис.5.13, в). В том случае, когда набор состоит из фрез разного диаметра, ограничиваются поднутрением (рис. 5.13, г) или выточкой на торце большой фрезы (рис.5.13, д), куда входит фреза меньшего диаметра, создавая перекрытие зубьев.

При проектировании набора фрез, как было указано выше, предварительно выбирают диаметр наименьшей фрезы, а диаметр других фрез определяют, исходя из размеров и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей.

Диаметр наименьшей фрезы можно рассчитать по формуле (5.1) 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 (5.5) 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 по формуле:

$$M_z = \sqrt{M_{\varphi}^2 + M_y^2 + M_z^2}, \quad (5.1.)$$

где M_{φ} – крутящий момент; M_y – изгибающий момент относительно оси Y ; M_z – изгибающий момент относительно оси Z .

Уточненный диаметр оправки $D_0 = \sqrt[3]{1,3 M_z \sigma}$, где σ – допускаемое напряжение материала оправки.

5.4. Фасонные фрезы

Фасонными называют такие фрезы, режущая кромка или профиль зубьев которых имеет фасонный, сложный контур. Они используются на любом фрезерном станке, сравнительно легко обрабатывая сложные поверхности с высокой степенью точности и низкой шероховатостью.

В ряде случаев, фасонная фреза является единственным инструментом, которым можно обработать сложный профиль изделия.

Наиболее распространены фасонные фрезы при обработке винтовых и цилиндрических поверхностей (прямых фасонных канавок), при изготовлении прямых и винтовых стружечных канавок всевозможных инструментов. Фасонными фрезами обрабатываются также поверхности вращения. Однако этот случай в практике встречается сравнительно редко.

Кинематическая схема фрезерования фасонной поверхности состоит из быстрого вращения инструмента вокруг своей оси и сравнительно медленного движения подачи заготовки.

Фасонные фрезы применяют как затылованные, так и острозаточенные. Затылованные фрезы перетачиваются по передней поверхности, а острозаточенные – задней фасонной поверхности.

Основное преимущество фрез с затылованными зубьями состоит в том, что их профиль после переточки по передней поверхности сохраняется постоянным.

Большинство затылованных фрез изготавливается с передним $\gamma=0^\circ$ и углом наклона режущей кромки $\lambda=0$. Передняя плоскость таких фрез ($\gamma=0^\circ$ и $\lambda=0$) проходит через ее ось. Выбор такого положения передней плоскости объясняется тем, что величины углов γ и λ , отличные от нуля, осложняют расчет, изготовление и контроль фрез, а также при ее переточках вносят погрешности в профиль детали, даже если новая фреза и обеспечивает точную обработку заданной поверхности.

Чтобы создать заданную поверхность, заставим переднюю плоскость с расположенной в ней фасонной режущей кромкой вращаться вокруг оси фрезы и одновременно совершать поступательное движение “самой по себе”. В этом случае режущая кромка, расположенная в передней плоскости, опишет поверхность, которую можно рассматривать как совокупность бесконечного числа режущих кромок, расположенных в осевых плоскостях и сдвинутых одна относительно другой. Если принять рассматриваемую поверхность за заднюю поверхность, то при переточках фрезы по передней плоскости форма режущей кромки будет оставаться неизменной.

При переточках каждый раз будет удаляться одна из режущих кромок и обнаруживаться идентичная ей новая кромка, расположенная в осевой плоскости фрезы.

В результате рассматриваемого движения передней плоскости, траекторией любой исследуемой точки режущей кромки может быть произвольная кривая, которую называют кривой затылования.

Если при вращении передняя плоскость одновременно удаляется от оси фрезы. То кривой затылования будет линия 1 (рис.5.14, а). Если передняя плоскость только вращается, то кривой затылования будет окружность 2. Если передняя плоскость, вращаясь, приближается к оси фрезы, то кривой затылования будет прямая 4 либо кривая 3.

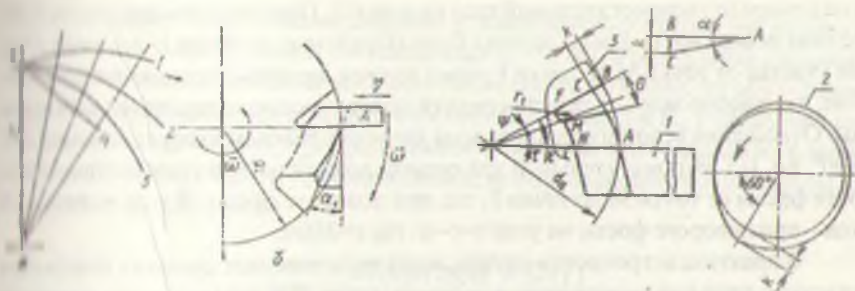


Рис.5.14. Схема радиального затылования

Из всех возможных кривых затылования практически приемлемой будет та, которая обеспечивает образование необходимых положительных задних углов как у новой, так и у переточенной фрезы.

Кривая 1 не может быть принята за кривую затылования, так как задние углы при этом будут отрицательными. Окружность 2 образует задние углы, равные нулю, что также неприемлемо.

Кривая 3 и прямая 4 обеспечивают получение положительных углов. Они могут быть приняты за реальные кривые затылования.

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 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.

Схема радиального затылования показана на рис.5.14, б. 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. Максимальный подъем спирали на кулачке равен величине затылования фрезы, которая может быть определена из треугольника ABC: $AB = \pi d_n / z$, а угол ABC равен заданному заднему углу на вершине зуба фрезы.

$$k = \frac{\pi d_n}{z} \operatorname{tg} \alpha$$

Значения k округляют до значений 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, и 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 $60/300^\circ$, 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 , рабочий ход – при повороте фрезы на угол $\tau = \varepsilon - \psi$, где $\varepsilon = 360/z$.

В практике встречаются случаи, когда затылованные фрезы на отдельных участках профиля имеют углы в плане ϕ менее 5° и значительную разность максимального и минимального диаметров (рис.5.15).

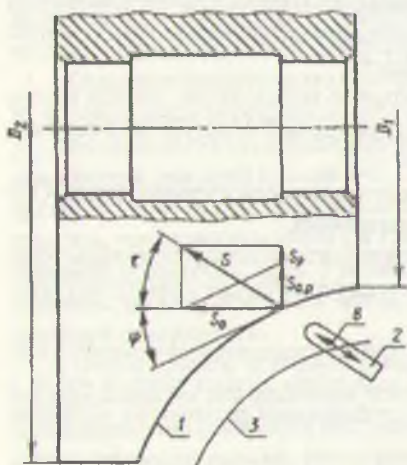


Рис.5.15. Схема углового затылования зуба фрезы

При радиальном затыловании профиля на участках с малыми углами в плане задние углы в нормальном к профилю сечении недостаточны, вследствие чего резко снижается стойкость фрез, а при переточках из-за большой разницы задних углов на различных участках лезвия происходит искажение профиля.

Для фрезы при радиальном затыловании задние углы на диаметре D , составляют

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{kz \sin \varphi_1}{\pi D_1} \text{ на диаметре } D, \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{kz \sin \varphi_2}{\pi D_2}$$

Минимальные задние углы можно увеличить и уменьшить разность задних углов для различных участков профиля, если применять не радиальные, а угловые затылованные фрезы. При угловом затыловании суппорт затыловочного станка перемещается вдоль оси станка по ППП, а резец совершает возвратно-поступательное движение по стрелке В под некоторым углом τ к оси

фрезы. Кулачок имеет подъем спирали S , следовательно, величина углового затылования равна S . Осевая составляющая $S_0 = S \cos \tau$, а радиальная составляющая $S_r = S \sin \tau$. Фактическая величина радиального затылования при угловом затыловании равна сумме радиальных составляющих S и S_0 . Радиальная составляющая величины $S_0 S_{op} = S_0 \tan \varphi$. Фактическая величина радиального затылования $k = S_r + S_0 S_{op} = S(\sin \tau + \tan \varphi \cos \tau)$. Зная k , можно определить задние углы на диаметрах D_1 и D_2 фрезы:

$$\tan \alpha_1 = \frac{zS(\cos \pi g \varphi_1 + \sin \tau)}{\pi D_1};$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{zS(\cos \pi g \varphi_2 + \sin \tau)}{\pi D_2}$$

На рис.5.16. приведены конструктивные элементы затылованных фрез.

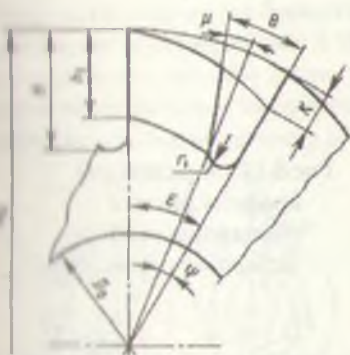


Рис.5.16. Конструктивные элементы затылованной фрезы

При проектировании фрез рассчитывают диаметр посадочного отверстия D_0 , наружный диаметр d_0 , высоту профиля h , фрезы, число зубьев z , радиус r , округления дна впадины, величину затылования k , высоту H зуба, ширину B фрезы, угол впадины θ . При расчете величины затылования угол α принимают равным $10-12^\circ$. Обычно передний угол выбирают равным нулю для того, чтобы не делать коррекционного расчета профиля.

Для дисковых фасонных фрез конструктивные элементы рассчитывают по следующим формулам:

$$D_0 = 5,25 h^{0,48} B^{0,15}$$

где h – глубина фрезерования, B – ширина фрезерования. Значение D_0 округляют до ближайшего стандартного размера.

$$da = 2,5 D_0$$

Значение da округляют до ближайшего большего размера, оканчивающегося на 0 или 5 при диаметрах фрез до 100 мм и на 0 при диаметрах более 100 мм.

$$z = \frac{\pi d_n}{A h_1}$$

где A – коэффициент, $A=1,8-2,5$ для черновых фрез и $A=1,3-1,8$ для чистовых фрез. Значение z округляют до ближайшего целого числа, лучше четного.
 $\tau_1 = (d_1/2 - h_1 - k) \sin \psi/2$; $H = h_1 + k + r_1$; $\theta = \psi + \mu$,

где $\mu = 15-20^\circ$ – угол, обеспечивающий прочность максимально переточенного зуба.

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

Затылованные фрезы с передним углом $\gamma \neq 0$ применяют в тех случаях, когда необходимо увеличить стойкость фрезы и уменьшить шероховатости обработанной поверхности.

На рис.5.17 показана расчетная схема фрезы с $\gamma > 0$

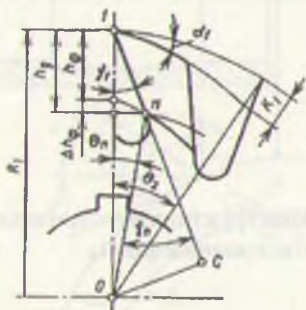


Рис.5.17. Определение профиля фрезы с положительным передним углом

За счет переднего и заднего углов высота профиля зуба фрезы уменьшается на Δh_ϕ :

$$h_\phi = h_n - \Delta h_\phi,$$

где h_n – высота или глубина профиля канавки детали, которая задана чертёжом.

Для определения необходимой высоты профиля зуба фрезы надо найти

Δh_ϕ . Из рисунка 5.17 $\Delta h_\phi \approx \theta_n$, $k_z \approx \theta_z$. Отсюда $\Delta h_\phi = \frac{k_z \theta_n}{\theta_z}$. Учитывая, что

$$k_z = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha, \text{ и } \theta_z = \frac{360}{z}, \text{ получим}$$

$$\Delta h_\phi = \frac{\pi D \theta_n}{360} \operatorname{tg} \alpha.$$

Из треугольника $O1n$ видно, что угол $\theta_n = \gamma_n - \gamma$. Передний угол в точке 1 задаётся в пределах $10-20^\circ$.

Передний угол в точке p найдем из соотношения

$$\sin \gamma_p = \frac{OC}{On} = \frac{OC}{R_1 - h_d},$$

где $OC = R_1 \sin \gamma_1$. Тогда $\sin \gamma_p = \frac{R_1}{R_1 - h_d} \sin \gamma_1$,

где R_1 — наибольший радиус фрезы в точке 1; $R_1 - h_p = R_p$, здесь R_p — текущий радиус точки режущей кромки.

Фасонные фрезы могут проектироваться с острозаточенными зубьями и перетачиваться по фасонной задней поверхности. При проектировании таких фрез необходимо обеспечить по всему фасонному контуру одинаковую плотность f , которая создается при фрезеровании стружечных канавок.

Номенклатура острозаточенных фасонных фрез, применяемых в машиностроении, отличается большим разнообразием как конструктивного оформления, так и размеров (рис. 5.18). На рисунке 5.18, а показана конструкция цевковых фрез с прямым зубом, применяемых для обработки прямых винтовых канавок режущих инструментов. Для этих фрез характерны относительно небольшие размеры: диаметр до 110 мм и ширина до 30 мм.

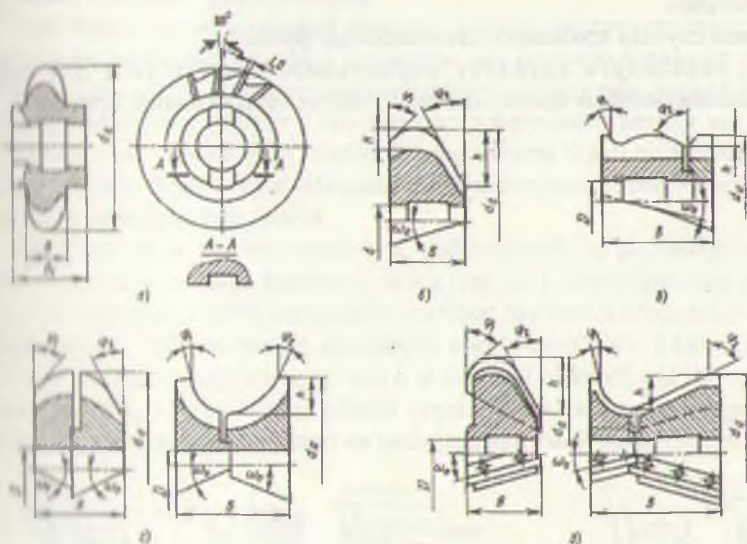


Рис. 5.18. Конструкции острозаточенных фрез

Широкие фрезы для улучшения равномерности фрезерования делают либо наклонными (шириной 35-100 мм) (рис. 5.18, б), либо с винтовым (рис. 5.18, в) (шириной 70-240 мм) зубом. Иногда широкие фрезы делают составными

(рис.5.18, г) с разнонаправленными зубьями, а фрезы большого диаметра – сборными (рис.5.18, д). Острозаточенные фрезы по сравнению с затылованными обеспечивают более высокую производительность и повышенную стойкость. Это объясняется большим числом зубьев, отсутствием обезуглероженного слоя, благодаря шлифованию задней поверхности зубьев, меньшим радиусом округления режущей кромки. Однако они требуют применения специальных приспособлений, копиров, шаблонов для заточки более сложных и изготовлении.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров условий обработки зависит диаметр цилиндрических фрез?
2. Как выбрать число зубьев у дисковых фрез?
3. Как обеспечить условия равномерности фрезерования для цилиндрической фрезы?
4. Перечислите формы зубьев цельных фрез и область их применения.
5. Перечислите преимущество сборных конструкций фрез по сравнению с цельными.
6. В каких случаях применяют затылованные фрезы?
7. Как определить величину нормального заднего угла для точки, расположенной на криволинейном участке затылованной фрезы?

Глава 6.

Инструменты для изготовления резьбы

Резьба в технике имеет самое широкое распространения и имеет разнообразные типы. Резьбы могут быть наружные и внутренние, правые и левые, цилиндрические и конические, однозаходные и многозаходные.

В связи с повышением требований к качеству резьбовых соединений и необходимостью внедрения более производительных методов обработки, что обусловлено массовостью резьбовых деталей, используемых в различных отраслях промышленности, операции резьбообразования непрерывно совершенствуются.

Образования резьбы производится методом резания и методом пластической деформации.

6.1. Резьбонарезной инструмент

В настоящее время при обработке резьбы резанием наиболее широкое распространение получили две схемы обработки, одна из которых соответствует точению, а вторая — фрезерованию.

При схеме, соответствующей процессу точения, инструмент относительно заготовки совершает винтовое движения, ось которого совпадает с осью резьбы. В этом случае движение винтовой поверхности резьбы детали относительно инструмента сводится к скольжению поверхности детали как бы по резце, аналогично скольжению винтовой поверхности гайки по винтовой поверхности болта. В результате, исходная инструментальная поверхность будет совпадать с поверхностью детали.

Наиболее простым инструментом, работающим по рассматриваемой схеме, является резьбовой фасонный резец (рис.6.1). При нарезание резьбы резец относительно детали совершает винтовое движения с заданным параметром резьбы. Обычно деталь вращается вокруг своей оси, а резец равномерно перемещается вдоль оси детали и за каждый рабочий ход имеет радиальное презание. Окончательно резьба формируется на последнем рабочем ходу, когда режущие кромки лежат на заданной винтовой поверхности.

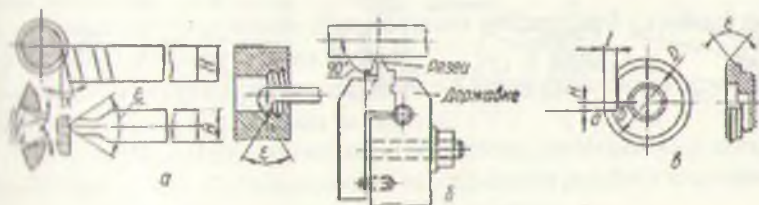


Рис. 6.1. Резьбовые резцы

Резьбовые резцы служат для нарезания наружной и внутренней резьбы остроугольного, трапецеидального, прямоугольного профилей. По конструкции они разделяются на стержневые (рис. 6.1а), призматические (рис. 6.1б) и круглые (рис. 6.1в). Все они характеризуются тем, что в момент окончательного оформления резьбы (при последнем проходе) их режущая кромка располагается на винтовой поверхности резьбы. Поэтому рассматриваемые резцы отличаются друг от друга только формой и размерами задней поверхности и способами закрепления на станке.

Стержневые резцы напоминают обычные токарные резцы, снабженные соответствующей формой головки, имеющей режущую кромку, соответствующую форме профиля нарезаемой резьбы. Эти резцы допускают сравнительно небольшое число переточек. Их переточка и установка довольно трудоемки.

Для упрощения заточки и установки резца применяют призматические фасонные резьбовые резцы, перетачиваемые только по передней поверхности и устанавливаемые в специальных державках. Они по сравнению со стержневыми допускают большее число переточек.

Более простыми в изготовлении являются круглые фасонные резьбовые резцы, устанавливаемые на специальной державке и перетачиваемые по передней поверхности. Для образования задних углов резец устанавливают в державке таким образом, чтобы его ось была выше оси детали. Круглые резьбовые резцы могут быть насадные и хвостовые. Хвостовые резцы имеют меньший диаметр рабочей части и применяются при обработке внутренних резьб.

Нарезание резьбы с помощью резцов осуществляют за несколько проходов. Чтобы уменьшить число проходов и повысить производительность труда при рассматриваемой схеме обработки, применяют резьбовые гребенки.

Резьбовые гребенки используют, главным образом, при нарезании резьбы мелкого шага и при мягких материалах. Гребенками можно нарезать резьбу за один или несколько проходов. Резьбовая гребенка представляет собой несколько объединенных в единой конструкции резьбовых резцов. Аналогично резьбовым резцам, резьбовые гребенки могут быть стержневые (рис. 6.2,а), призматические (рис. 6.2,б) и круглые (рис. 6.2,в).



Рис. 6.2.Резьбовые гребенки

Рабочая часть гребенки имеет 6-8 шагов резьбы. Из них 1,2-2 шага расположены на режущей части и 4,5-6 шагов – на калибрующей части (рис. 6.2, г). При нарезании резьбы на проход на режущей части могут быть 3-4 шага. Вершины зубьев на режущей части срезаны, образуя заборные конус с углом $\varphi = 29-30^\circ$, благодаря чему срезаемый припуск и работа резания распределяется между несколькими режущими кромками. Вследствие этого нагрузка на каждую режущую кромку уменьшается и увеличивается стойкость инструмента. Число рабочих ходов при нарезании резьбы гребенками уменьшается в 2-3 раза по сравнению с резьбовыми резцами. При каждом рабочем ходе гребенка радиально врезается в заготовку и за каждый ее оборот перемещается на один шаг вдоль оси заготовки.

Наиболее широко распространены круглые гребенки, как более простые в изготовлении и допускающие достаточно большое количество переточек.

Круглые гребенки обычно проектируют с винтовой задней поверхностью, с углом подъема, равным углу подъема резьбы детали, и только при небольших углах подъема обрабатываемой резьбы с кольцевыми витками. Для деталей с правой наружной резьбой применяют гребенки с левой резьбой, а для деталей с левой наружной резьбой – гребенки с правой резьбой. Благодаря этому обеспечиваются приблизительно равные величины задних углов на боковых кромках зубьев. Гребенки с винтовой нарезкой обеспечивают лучшие условия резания и проще в изготовлении.

Инструменты, у которых в единой конструкции объединено несколько резьбовых гребенок, называют метчиками и плашками.

6.2. Метчики

Метчики служат для изготовления резьбы в отверстиях. Метчик как инструмент получается из винта путем прорезания в нем стружечных канавок, образования заборного конуса и затылования зубьев для создания положительного заднего угла. Канавки образуют переднюю поверхность, режущие кромки и пространство для размещения и удаления стружки.

Метчики бывают следующей конструкции:

1. Слесарные или ручные, которые делаются комплектом, состоящими из двух или трех штук.
2. Машинно-ручные, служащие для нарезания метрической и трубной резьбы в сквозных и глухих отверстиях.
3. Машинные, служащие для нарезания резьбы в глухих и сквозных отверстиях деталей машин и работающих на станках.
4. Гайечные, служащие для нарезания резьбы в гайках, работают на станках.
5. Комбинированные – для нарезания и калибрования резьбы в плашках.
6. Сборной конструкции, регулируемых по диаметру.

7. Внутренние резбонарезные головки, гребенки, которые автоматически сходятся и выходят из контакта после нарезания резьбы в отверстии.

Несмотря на большое разнообразие, метчикам присуща общность в работ резания, и все они имеют одинаковые основные части, конструктивные элементы и геометрию.

На рис. 6.3. показан метчик, состоящий из режущей 1 и калибрующей 2 части и хвостовика 3, который служит для закрепления метчика в патроне.

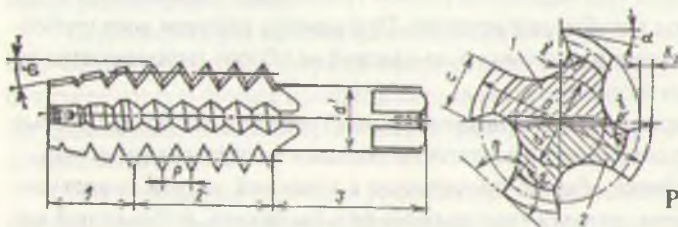


Рис. 6.3. Метчик

К основным конструктивным элементам метчика относятся также число режущих перьев или канавок, размеры, форма и направление канавок, диаметр сердцевины, геометрия режущих и калибрующих зубьев.

Режущая часть метчика является одним из главных конструктивных элементов, которая выполняют основную работу резания – удаляет почти весь припуск в процессе формообразования резьбы. Для распределения работы резания на несколько режущих зубьев режущая часть выполняется в виде усеченного конуса с наклоном его образующей к оси метчика под углом φ . В этом случае каждый зуб режущей части метчика срезает слой постоянной толщины a и переменной ширины b (рис. 6.4.). Для полного удаления объема металла из впадины резьбы число таких срезов n равно числу элементарных зубьев на режущей части $n = h / a$, где h фактическая высота профиля резьбы, удаляемая метчиком, a – толщина срезаемого слоя в направлении, перпендикулярном оси метчика:

$$h = \frac{d - d_1}{2} + \delta, \quad a = \frac{a}{\cos \varphi};$$

здесь d и d_1 – номинальный наружный и внутренний диаметры резьбы гайки; δ – верхнее отклонение допуска по наружному диаметру метчика.

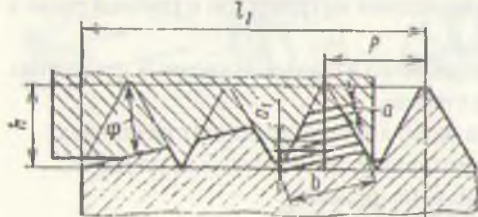


Рис. 6.4. Элементы режущей части метчика

Толщина срезаемого слоя должна удовлетворять двум условиям: она не должна быть меньше радиуса скругления режущих кромок, чтобы осуществить процесс резания и исключить подминание удаляемого слоя задней поверхностью зубьев. С другой стороны, наибольшая толщина срезаемого слоя должна быть такой, чтобы получить необходимую шероховатость обработанной поверхности и нужное качество поверхностного слоя. Исследования показывают, что этим условиям удовлетворяет толщина $a_1 = 0,02-0,15$ мм. Как видно из рис. 6.4,

$$a_1 = \frac{P}{z} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где P – шаг резьбы, z – число перьев или канавок метчика.

Можно считать, что $\operatorname{tg} \varphi = h / l_1$, тогда

$$a_1 = \frac{P \cdot h}{z \cdot l_1}$$

Отсюда длина режущей части метчика:

$$l_1 = \frac{P \cdot h}{z \cdot a_1} \quad (6.1)$$

Из уравнения (6.1) видно, что для данной резьбы чем больше число режущих перьев и чем больше толщина срезаемого слоя, тем меньше длина режущей части метчика.

Практически длина l_1 определяется числом шагов резьбы на режущей части. При нарезании резьб в глухих отверстиях $l_1 = ZP$, в сквозных – $l_1 = 6P$, для сверльных метчиков, т.е. при нарезании резьбы в гайках $l_1 = 12P$ мм. В соответствии с этим и угол наклона φ изменяется от $3-4^\circ$ до $18-20^\circ$.

Для создания лучших условий направления метчика в начальный момент его работы диаметр переднего торца метчика применяют на $0,1-0,4$ мм меньше диаметра предварительно подготовленного отверстия.

Длина режущей части метчика зависит также от точности нарезаемой резьбы и качества обрабатываемого материала. Чем выше точность и ниже шероховатость резьбы, тем должна быть меньше толщина срезаемого слоя, тем, следовательно, будет больше длина режущей части. С увеличением твердости и прочности обрабатываемого материала длина режущей части должна увеличиваться, что ведет к уменьшению толщины срезаемого слоя и облегчению процесса резания. Например, для нарезания резьбы в титановых и жаропрочных сплавах $l_1 = (12-20)P$.

Последнее положение справедливо при нарезании резьбы в сквозных отверстиях при условии, когда длина режущей части больше длины нарезаемой резьбы. Для сквозных отверстий, в том числе и для гаек, наибольшая сила резания возникает тогда, когда длина режущей части метчика равна длине на-

резаемой резьбы. В этом случае при входе всей режущей части метчика в отверстие срезается максимальная суммарная площадь сечения резьбы.

Если же режущая часть короче длины резьбы, то сила резания получается меньше, чем в предыдущем случае, вследствие уменьшения давления резания и сил трения. Давление резания уменьшается, потому что увеличивается толщина срезаемого слоя. Силы трения снижаются за счет уменьшения длины и площади контакта инструмента с изделием. Если к тому же учесть, что с уменьшением длины режущей части метчик становится короче, требуется меньше инструментального материала, снижается стоимость изготовления инструмента и повышается производительность резбонарезания, то в определенных условиях целесообразность применения таких метчиков будет вполне оправдана. Недостатком метчиков с короткой режущей частью являются их худшее направление в момент входа в отверстие.

Калибрующая часть метчика служит для зачистки, калибрования резьбы. Она окончательно формирует резьбу, обеспечивает необходимую точность размеров и шероховатость поверхности и является резервом для пополнения режущих зубьев за счет калибрующих по мере изнашивания и переточки метчика. По существу работу по зачистке резьбы выполняют зубья первого витка калибрующей части. Остальные витки служат для поддержания устойчивого направления метчика и способствуют перемещению метчика вдоль оси за счет процесса самозатягивания.

Диаметр калибрующей части определяется диаметром резьбы изделия. Длина калибрующей части l_2 должна обеспечивать выполнение указанных функций. Рекомендуется делать калибрующую часть длиной $l_2 = (1,2-1,5) d$ для малых диаметров резьбы, $l_2 \approx d$ для средних диаметров резьбы, $l_2 = (0,6-0,8) d$ для резьбы большого диаметра.

Длина калибрующей части может быть выражена через число шагов резьбы. Для машинных и гасечных метчиков $l_2 \approx 8P$, для ручных $l_2 \approx (6-8)P$. После предельного стачивания длина калибрующей части должна быть не менее $0,5D$.

Калибрующая часть не является строго цилиндрической. Для снижения сил трения и уменьшения величины разбивки отверстия калибрующая часть имеет небольшую обратную конусность, т.е. по направлению к хвостовику наружный, средний и внутренний диаметры несколько уменьшаются. Для метчиков со шлифованным профилем диаметр уменьшается на $0,05-0,1$ мм на 100 мм длины, с нешлифованным профилем — на $0,08-0,12$ мм.

При срезании слоев (см. рис. 6.4) на боковых сторонах профиля резьбы остаются следы от отдельных режущих кромок. Если средний диаметр резьбы режущей и калибрующей частей одинаковый, то следы не всегда могут быть удалены калибрующими зубьями. Чтобы устранить этот недостаток и повысить качество поверхностного слоя, для резьбы степени точности 4Н, 5Н, а иногда и для 6Н рекомендуется средний диаметр калибрующих зубьев метчика

должна быть несколько больше среднего диаметра режущей части. В этом случае калибрующие зубья первого витка будут срезать тонкий слой по всему контуру профиля и зачищать резьбу.

Из уравнения (6.1) видно, что при постоянной длине режущей части число канавок Z влияет на толщину срезаемого слоя. Чем меньше число канавок, тем больше толщина срезаемого слоя, тем меньше давление резания. Исследования показали, что с уменьшением Z снижается крутящий момент при работе метчика. С сокращением числа канавок увеличивается их площадь сечения, что ведет к более свободному размещению стружки и более легкому ее удалению. Число канавок зависит от диаметра метчика D : $Z = 2-3$ для $D = 2-20$ мм; $Z = 3-4$ для $D = 22-36$ мм; $Z = 4-6$ для $D = 39-52$ мм.

Ширина режущих перьев C должна быть достаточной по условиям прочности и допускать несколько переточек метчика по передней поверхности. Вместе с тем, ширина пера не должна быть слишком большой, так как это приводит к увеличению сил трения. Рекомендуется делать ширину пера $C = (0,3 - 0,32) D$, если $Z = 3$, $C = (0,2 - 0,22) D$, если $Z = 4$, $C = (0,16 - 0,18) D$ при $Z = 6$.

Наличие конусности сечения и объем стружечных канавок на режущей части получается меньше, чем на калибрующей. Для увеличения объема канавки, особенно в начале режущей части, ширина перьев на режущей части уменьшается. Для этого делают скос перьев, как показано на рис. 6.5. Параметры скоса следующие:

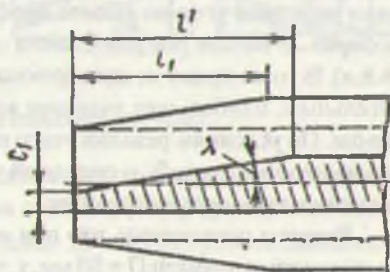


Рис. 6.5. Скос перьев на режущей части метчика

Длина скоса $L^1 = 1 + (2-10)$ мм, угол $\lambda = 5 - 6^\circ$, ширина пера в начале режущей части $C_1 = (0,3-0,5) C$. Такое конструктивное изменение рекомендуется применять только для метчиков, нарезающих резьбу в сквозных отверстиях. В этом случае стружка будет направляться скосом вперед и легче удаляться из отверстия.

Поямки являются также важным элементом метчиков. Они образуют направляющую поверхность и режущие кромки, а также пространство для размещения и удаления стружки должны быть достаточными по размерам, не должны мешать сердцевине и режущим перьям метчика, обеспечивать рациональную геометрию зубьев и быть сравнительно простыми в изготовлении.

Существующие формы канавок можно подразделить на два вида: канавки, образующие радиусную переднюю поверхность и канавки, образующие плоскую переднюю поверхность.

На рис. 6.6 показаны эти формы канавок. По технологическим приня-
там они одинаковы, но с точки зрения изменения переднего угла зубьев по
высоте профиля и вдоль оси метчика эти канавки разные.

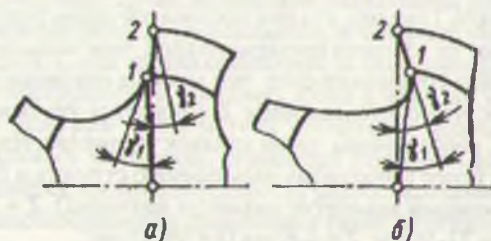
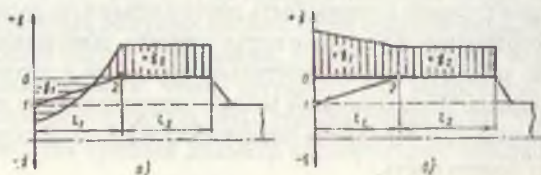


Рис. 6.6. Формы стружечных канавок метчика

У канавки с радиусной передней поверхностью (рис.6.6,а) передний угол γ в точке 1 всегда будет меньше, чем в точке 2, т.е. $\gamma_1 < \gamma_2$. Передний угол γ_2 может быть даже отрицательным (рис. 6.6,б). Точка 1 лежит на внутреннем диаметре резьбы метчика и соответствует началу его режущей части. Первые зубья режущей части удаляют больший объем металла, чем другие, а вся режущая часть выполняет основную работу резания. Для уменьшения силы резания следовало бы иметь на режущей части положительный передний угол и увеличением его к началу метчика. В действительности же у этой формы канавки передний угол по высоте профиля и вдоль режущей части изменяется наоборот. В начале режущей части он получается меньше, чем в конце (рис.6.6,а). В то же время на калибрующей части передний угол γ_2 является положительным, наибольшее значение которого получается в точке 2 на вершине резьбы. По условиям резания этого не требуется, так как калибрующая часть только зачищает резьбу и передний угол у её зубьев может быть равен нулю или небольшим положительным.

Расчеты показывают, что при нарезании метрической резьбы метчиками, имеющими диаметр $D = 50$ мм, $\gamma_1 = 1^\circ$, $\gamma_2 = 14^\circ$; для $D = 6$ мм $\gamma_1 = -15^\circ$, $\gamma_2 = 14^\circ$. Отсюда видно, что криволинейная форма передней поверхности создает не удовлетворительную геометрию переднего угла.

На рис. 6.6, б показана канавка с прямолинейной передней поверхностью, а на рис. 6.7, б эпюра изменения переднего угла по высоте профиля и вдоль оси метчика для этой формы. Из рисунков видно, что в этом случае в начале режущей части, в точке 1, лежащей на внутреннем диаметре резьбы метчика, передний угол γ_1 является наибольшим положительным,



в начале режущей части и на всей калибрующей части (в точке 2) он остается постоянным, но по своему значению получается меньше, чем на режущей части. Например, для нарезания резьбы для $D = 50$ мм $\gamma_1 = 10^\circ$, $\gamma_2 = 1,5^\circ$, для $D = 6$ мм $\gamma_1 = 10^\circ$, $\gamma_2 = 4^\circ$. Такое изменение переднего угла является правильным и соответствует требованиям процесса резания. Отсюда следует, что канавки, образующие плоскую переднюю поверхность метчика, обеспечивают более оптимальные значения переднего угла и являются предпочтительными при проектировании метчиков.

Углы η и ϵ (см. рис. 6.3) являются внешним и внутренним углами задней рабочей кромки. Канавки должны быть сделаны так, чтобы при вывинчивании метчика задняя кромка не срезала и не портила образованную резьбу и чтобы не застревала стружка в углу η . Этому условию отвечают канавки, образующие угол $\eta = 80-85^\circ$ и $\epsilon = 95-100^\circ$.

Метчики изготавливают с прямыми и винтовыми канавками. Метчики универсального назначения имеют обычно прямые канавки (рис. 6.8, а). Для лучшего удаления стружки при нарезании резьбы в сквозных отверстиях прямые канавки расширяются к началу режущей части за счет скосов режущих перьев (рис. 6.8, б).

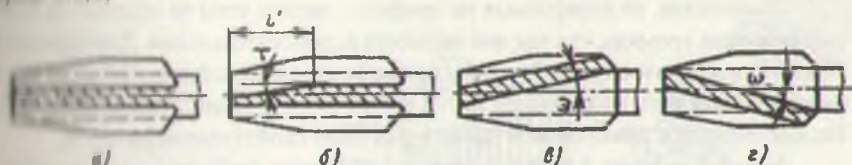


Рис. 6.8. Направления канавок метчика

В этом случае стружка направляется для выхода вперед, т.е. в отверстие. Если же условия работы метчиков заранее известны, то лучше метчики делать с винтовыми канавками. Угол наклона канавок $\omega = 10-15^\circ$. Для легких сплавов и вязких материалов $\omega = 25-30^\circ$. Метчики с винтовыми канавками хорошо зарекомендовали себя в работе. Они лучше отводят стружку и имеют более постоянное и устойчивое направление. Если резьба праворежущая, то для сквозных отверстий канавки имеют левозаходное направление (рис. 6.8, в). При нарезании резьбы в глухих отверстиях канавки делают правозаходными (рис. 6.8, г). В этом случае стружка будет удаляться в направлении хвостовика.

Канавки по глубине должны быть такими, чтобы не ослаблять сердцевину метчика. По условиям прочности, диаметр сердцевины (см. рис. 6.3) должен быть $d = (0,38-0,4) D$ для $Z = 3$; $d = (0,42-0,45) D$ для $Z = 4$; $d = (0,52-0,55) D$, если $Z = 6$. Для увеличения объема канавки и создания условий для более свободного размещения стружки диаметр сердцевины уменьшается к началу режущей части на $(0,1-0,2) d$, т.е. в начале режущей части диаметр сердцевины $d_1 = (0,8-0,9) d$.

Углы резания у метчиков имеют весьма важное значение, так как они работают в трудных условиях образования внутренней резьбы. На режущей части передний угол γ должен быть положительным. Рекомендуется для чугуна, твердой стали, хрупкой латуни и бронзы $\gamma = 0-5^\circ$, для стали средней твердости и латуни $\gamma = 8-10^\circ$, для вязкой стали и меди $\gamma = 12-15^\circ$; для алюминия и других вязких цветных металлов $\gamma = 16-25^\circ$.

Главные кромки на режущей части являются вершинными и срезают основную часть металла, боковые режущие кромки на каждом зубе – вспомогательными. Поэтому задний угол α должен быть оптимальным, прежде всего на вершинных кромках. Рекомендуется $\alpha = 6-12^\circ$. Меньшие значения применяют для ручных метчиков и при нарезании резьбы в легких сплавах.

Задний угол получают затылованием задней поверхности по спирали Архимеда. Величина затылования по вершинам зубьев:

$$K_z = \frac{\pi \cdot D_1}{z} \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где D_1 – внутренний диаметр резьбы метчика,

z – число перьев или канавок метчика.

У метчиков, не шлифуемых по профилю, задние углы не создают на боковых режущих кромках, так как они являются вспомогательными. Для нарезания более точной и качественной резьбы применяют шлифованные метчики. Шлифованные метчики на режущей части затылуются по всему профилю зубьев. Вследствие этого повышаются также и режущие свойства инструмента.

Условия резания, а также снижения сил трения требуют создания небольших задних углов и на калибрующей части. Однако вывинчивающие метчики после нарезания резьбы, особенно ручные нешлифованные, не затылуются на калибрующей части. Иначе при вывинчивании может защемляться мелкая стружка, что приводит к порче, срыву резьбы и даже к поломке метчика.

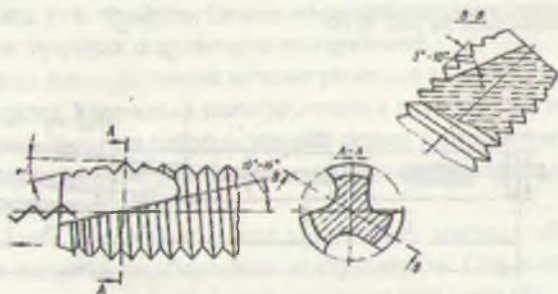
Шлифованные метчики затылуются по всему профилю и на калибрующей части. Это необходимо для того, чтобы исключить налипания металла на боковые поверхности резьбы метчика, особенно при обработке вязких металлов. Величина затылования принимается небольшой от 0,01 до 0,1 мм для метчиков диаметром $D = 4-52$ мм во избежание защемления стружки при обратном вращении. Для более длительного сохранения диаметра после нескольких переточек затылование на калибрующей части целесообразно производить не от режущих кромок, а отступив от них на $1/3$ ширины пера.

Хвостовик метчика – цилиндрический, с квадратом на конце для зажима и передачи крутящего момента. Диаметр хвостовика d , на 0,25–1,5 мм меньше внутреннего диаметра резьбы метчика. У мелких метчиков диаметр хвостовика больше или равен наружному диаметру метчика. Длина хвостовика зависит

он диаметра и назначения метчика. Машинные метчики вывертываются после нарезания резьбы, поэтому у них короткий хвостовик. Гаечные метчики не вывертываются, несколько нарезанных гаек нанизываются на хвостовик, а затем он вынимается из патрона, поэтому у таких метчиков хвостовики делают длинными. Гаечные метчики, работающие на специальных гайкорезных автоматах, имеют изогнутый хвостовик, по которому нарезанные гайки непрерывным потоком сходят в лоток.

Опыт эксплуатации, особенно мелкоразмерных метчиков, показывает, что значительная их часть выходит из строя в результате поломок. Это свидетельствует, в первую очередь, о их недостаточной прочности. Для повышения прочности применяют так называемые бесканавочные метчики (рис.6.9). У бесканавочных метчиков стружечные канавки выполняют на небольшой длине, обычно равной утроенной длине режущей части.

Рис. 6.9.
Бесканавочный
метчик



Угол наклона канавок принимают равным $10-15^\circ$. Направление канавок — обратно направлению резьбы. Сердцевина метчика утолщается в направлении хвостовика с уклоном $5-10^\circ$. Такая конструкция канавок обеспечивает отвод стружки в направлении подачи, т.е. в предварительно обработанное отверстие. Поэтому бесканавочные метчики применяют для нарезания резьбы в сквозных отверстиях.

Чтобы уменьшить трения и разбивку размеров нарезаемой резьбы, бесканавочным метчикам увеличивают обратную конусность на калибрующей части до $0,2\text{ мм на } 100\text{ мм}$ длины. Такие метчики имеют лучшее направление при работе, обусловленное сплошными калибрующими витками, дают чистую и качественную резьбу, обеспечивают большое число переточек. Они находят применение при нарезании резьбы в деталях из легких сплавов, цветных металлов, вязкой стали, чугуна.

Для нарезания резьбы в металлах и труднообрабатываемых сплавах применяют метчики с прерывистой резьбой, у которых на перьях зубья удаляются через шаг в шахматном порядке. Вследствие этого увеличивается

объем пространства для размещения стружки, которая меньше забивает кромки и легче из них удаляется.

Для нарезания за один проход трапецеидальных резьб в сквозных отверстиях деталей применяют метчики-протяжки. Обработка резьбы метчиками-протяжками производится на токарном станке. Метчик-протяжка с надетой на хвостовик деталью, как при протягивании, закрепляется в резцедержателе станка и вводится в отверстие шпинделя. В процессе обработки деталь, зажатая в патроне станка, вращается, а протяжка-метчик совершает поступательное движение подачи. Рассматриваемые движения кинематически связаны друг с другом и приводятся к винтовому движению протяжки относительно детали, параметр которого равен параметру нарезаемой резьбы. В отличие от обычных метчиков, метчики-протяжки работают на растяжение, что значительно увеличивает прочность инструмента. Конструкция метчика-протяжки показана на рис. 6.10

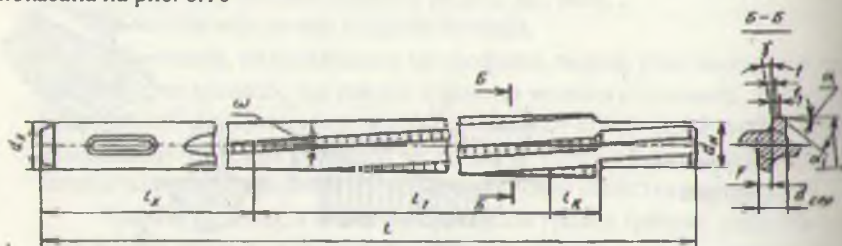


Рис. 6.10. Метчик-протяжка

В основном метчики изготавливают из быстрорежущей стали. В последнее время получают распространение также твердосплавные метчики, обладающие повышенной стойкостью. Для мелких резьб метчики изготавливаются целиком из твердого сплава, для резьб среднего размера из твердого сплава изготавливается только рабочая часть, которая припаивается к стальному хвостовику (рис. 6.11,б), для резьб больших размеров находят применения метчики с напаянными твердосплавными пластинами (рис. 6.11,а), а также метчики с механическим креплением пластин.

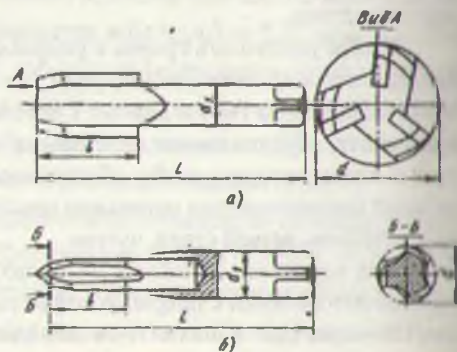


Рис. 6.11. Твердосплавные метчики

Твердосплавные метчики рекомендуется применять при обработке высокопрочных сталей и сплавов, а также материалов, обладающих интенсивным абразивным воздействием на инструмент.

6.3. Плашки

Плашки служат для нарезания наружной резьбы на болтах, винтах, шпильках и других деталях. Плашки бывают круглые, трубчатые и призматические, приспособленные к слесарным вороткам. Круглые плашки применяют для нарезания деталей за один рабочий ход на револьверных станках и автоматах, призматические - за несколько рабочих ходов вручную.

Круглая плашка представляет собой гайку, сопряженную с нарезаемой резьбой, превращенную в режущий инструмент путем прорезания стружечных канавок и затылования зубьев. Плашки не могут нарезать резьбу высокой точности, так как после термической обработки в резьбе невозможно устранить возникшие искажения шага, угла профиля. Однако из-за дешевизны и несложной эксплуатации плашки получили широкое распространение.

На рис. 6.12. показаны конструктивные и геометрические элементы круглых плашек. К ним относятся: наружный диаметр, число и диаметр стружечных отверстий и их центров, толщина плашки, ширина перьев и просвета между ними, угол конуса режущей части, передний и задний углы резания и элементы для крепления плашки в патроне.

Режущую часть плашки выполняют в виде внутреннего конуса с обеих сторон, поэтому плашка является двусторонним инструментом. Она выполняет основную работу резания по удалению металла из впадины резьбы.

Угол конуса и длина режущей части зависят от качества обрабатываемого материала. Для обработки более прочных и твердых материалов угол 2φ рекомендуется принимать 30° . Для обработки легких сплавов и цветных металлов $2\varphi = 70^\circ$. Для стандартных плашек $2\varphi = 50^\circ$, одинаковый с обеих сторон. Однако целесообразнее изготавливать плашки с разными углами конуса с той и другой стороны. Это расширяет ее технологические возможности, делая плашку более универсальной для обработки разных материалов. В зависимости от угла 2φ определяется и число ниток на режущей части. Для $2\varphi = 30-70^\circ$ число ниток на режущей части составляет от 3 до 1,25. Зубья на режущей части затылуются только по вершинам на специальном затыловочном станке для заданного заднего угла $\alpha = 6-9^\circ$.

Для лучшего направления плашки и захвата заготовки в момент ее входа диаметр d_1 в начале режущей части должен быть на 0,3-0,4 мм больше диаметра d резьбы.

Калибрующая часть зачищает и калибрует резьбу. По мере изнашивания режущих зубьев она также служит запасом для перевода калибрующих зубьев

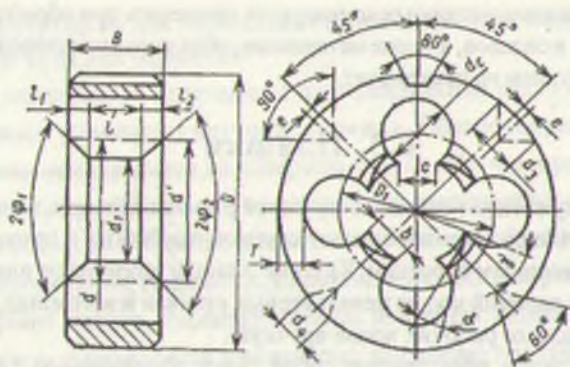


Рис. 6.12. Круглая плашка

в режущие. Как указывалось ранее, ее длина ограничивается 3-5 шагами резки.

У двусторонних плашек зубья на калибрующей части по задней поверхности не затылуются, так как это невозможно сделать по принципиальным соображениям: для одной стороны требуется производить затылование в одном направлении, для другой — в противоположном. Если плашка имеет режущую часть с одной стороны, то затылование калибрующих зубьев возможно на небольшую величину, примерно 0,1–0,2 мм, обеспечивая задний угол 30–45°.

Плашки не шлифуются после термообработки, поэтому они нарезают резьбу не выше степени точности 6ξ-6d. Для получения резьб повышенной точности плашки после термообработки калибруются специальным закаленным метчиком или притиром. На режущей части задние углы у плашек выбираются $\alpha = 6-9^\circ$, на калибрующей — $\alpha = 0$. Передний угол принимается в зависимости от обрабатываемого материала. Для точки 1 (рис. 6.13) передний угол $\gamma_1 = 10-25^\circ$. На рис. 6.13 видно, что передний угол по высоте профиля резьбы изменяется.

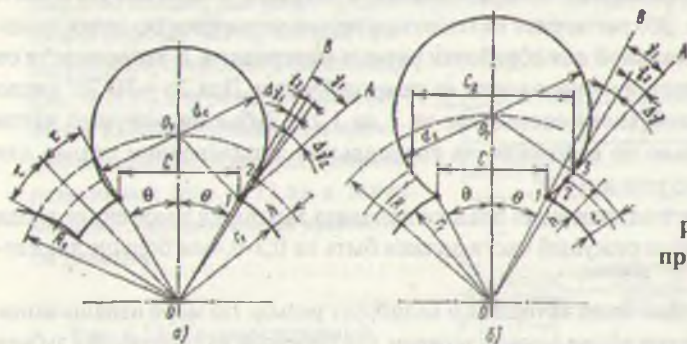


Рис. 6.13. Геометрия радиусной (а) и прямоугольной (б) передней поверхности плашек

Более интенсивно передний угол изменяется у плашек, имеющих криволинейную переднюю поверхность. Он уменьшается от точки 1 к точке 2. При некоторых значениях высоты резьбы h передний угол в точке 2 может быть отрицательным для плашек, показанных на рис. 6.13,а. Это плохо, так как точка 2 принадлежит началу режущей части. По условиям резания, в этой точке должен быть максимальный передний угол, а в действительности, он получается меньше необходимого.

Плашки с прямолинейной передней поверхностью имеют такую же принципиальную закономерность в изменении переднего угла по высоте профиля, а следовательно, и вдоль оси плашки, но с меньшей интенсивностью.

Отсюда следует, что плашки с прямолинейной передней поверхностью лучше плашек с криволинейной передней поверхностью с точки зрения изменения переднего угла. Однако радиусная передняя поверхность технологичнее, её легче изготовить. Чтобы передний угол на режущей части остался положительным, плашки нужно делать с высотой профиля резьбы до 1 мм.

Наружный диаметр плашки зависит от диаметра резьбы изделия и стружечных отверстий. Приближенное его значение можно определить по следующему выражению:

$$D = d_1 + 2d_c + 2T,$$

где d_1 – внутренний диаметр резьбы винта, d_c – диаметр стружечных отверстий, T – толщина стенки плашки. Внутренний диаметр d_1 известен, он задается диаметром резьбы винта.

Диаметр стружечных отверстий лучше определять с учетом вида передней поверхности: криволинейная (радиусная) или прямолинейная (см. рис. 6.13). Из этого рисунка видно построение стружечных отверстий для того или другого вида передней поверхности. Для радиусной передней поверхности, зная размер S из точки 1, лежащей на внутреннем диаметре резьбы плашки, проводим прямую линию 1 – А под передним углом γ_1 к центральному лучу ОВ. К линии 1 – А в точке 1 восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с центральной линией ОО₁. Точка пересечения О₁ и есть центр окружности d_c стружечной канавки.

Для плашек с прямолинейной передней поверхностью центр О₁ стружечного отверстия находится следующим образом. Также из точки 1 проводится прямая линия 1 – А под углом γ_1 к центральному лучу ОВ. На линии 1 – А откладываем отрезок $t = (1,2-1,5) h$. Из точки 3 к линии 1 – А восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с линией ОО₁. Точка О₁ будет также центром окружности стружечной канавки этих плашек.

Диаметр стружечных отверстий определим из следующих уравнений: для плашек с радиусной передней поверхностью

$$d_c = \frac{C}{\cos(\theta + \gamma_1)},$$

для плашек с прямолинейной передней поверхностью

$$d_c = \frac{C_1}{\cos(\theta + \gamma_1)},$$

здесь $\sin\theta = c/d_1$, $c_1 = c + 2t \sin(\theta + \gamma_1)$, где C – ширина просвета стружечного отверстия, θ – центральный угол, соответствующий половине ширины просвета, γ_1 – передний угол в точке 1, которым задаются в зависимости от обрабатываемого материала; C_1 – расстояние по хорде стружечного отверстия между точками 3, d_1 – внутренний диаметр резьбы плашки, t – прямолинейный участок передней поверхности.

Из приведенных выше уравнений видно, что плашки с прямолинейной передней поверхностью при одной и той же ширине просвета C имеют больший диаметр стружечных отверстий, чем плашки с радиусной передней поверхностью. С точки зрения размещения стружки это хорошо. Вместе с тем увеличивается наружный диаметр на $2t$, что нежелательно по условиям большего расхода инструментального материала.

Толщина стенки T удовлетворяет условиям прочности, если принимается, примерно, равной $(1-1,2) \sqrt{d}$ для диаметров резьбы от 5 до 72 мм, где d – наружный диаметр резьбы.

Ширина просвета C тесно связана с числом и шириной перьев. Число перьев (стружечных отверстий) Z рекомендуется принимать в зависимости от диаметра резьбы. При изменении диаметра резьбы $d = 1-80$ мм число перьев $Z = 3-12$.

Ширина пера b должна быть достаточной, чтобы удовлетворять условиям прочности и жесткости, обеспечивать несколько переточек и надежное центрирование и направление плашки в работе. Опыт эксплуатации плашек показывает, что ширина пера должна быть меньше ширины просвета стружечных отверстий. Оптимальное соотношение между шириной пера и просвета стружечных канавок составляет $b/c = 0,65-0,8$. Здесь меньшее значение принимается для плашек, имеющих большое число стружечных отверстий Z . Зная Z и отношение b/c , нетрудно определить центральные углы 2τ и 2θ , охватывающие перо и просвет канавок. Тогда ширина пера $b = d_1 \sin\phi$, а ширина просвета стружечных канавок $c = d_1 \sin\theta$.

Диаметр D_1 , на котором располагаются центры стружечных отверстий, определяется по формуле:

$$D_1 = C[\operatorname{tg}(\theta + \gamma_1) + \operatorname{ctg}\theta]$$

Толщина плашки не должна быть слишком большой, так как это вызывает значительные накопления погрешности по шагу при термообработке, ухудшается выход стружки из отверстий плашки и подвод СОЖ. Слишком малая толщина не может обеспечить правильного направления в работе. Удовлетворительная толщина плашки получается, если она содержит семь – девять ниток. При этом 1,5-2,5 нитки делают на режущей части с каждой стороны и 3-5 витков на калибрующей. Для мелких резьб, чтобы по условиям крепления сохранить толщину плашки достаточной и оставить указанное число шагов, у плашки делают виточку с одной стороны.

При ручной работе плашки крепятся в специальном кольце, которое закрепляется в воротке. Машинные плашки закрепляются в патроне. Для того и другого способа в плашке делают гнезда в виде конических углублений, показанных на рис. 6.12. Нижние гнезда с углом конуса 60° под установочный винт, верхние с углом 90° поджимные, смещены от оси на величину $e = 0,5-2,0$ мм для лучшего закрепления плашки винтами. У новых плашек сверху делают паз, перемычка которого разрезается после двух-трех переточек, затем плашку можно регулировать на размер. Винт, упирающийся в этот паз, является разжимным.

6.4. Резьбонарезные фрезы

Резьбонарезные фрезы являются многозубными инструментами, благодаря чему процесс резьбонарезания становится более производительным по отношению к резцам.

По конструкции резьбонарезные фрезы подразделяют на следующие типы: гребенчатые цилиндрические для нарезания резьб неглубокого профиля с шагом, 0,5-6 мм (рис. 6.14,а); дисковые для нарезания резьб крупного профиля (рис. 6.14,б); гребенчатые сборные охватывающие (рис. 6.14,в); головки для скоростного фрезерования резьбы с крупным шагом (рис. 6.14,г).

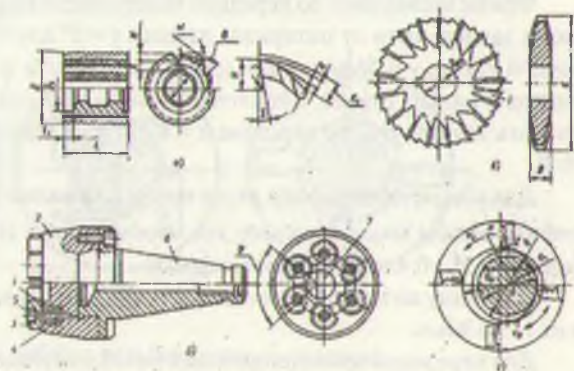


Рис. 6.14.
Резьбонарезные фрезы

Фрезерование резьб производительнее по сравнению с обработкой резцами, но из-за наличия кольцевых витков профиль резьбы искажается. Поэтому гребенчатые резьбовые фрезы применяют, в основном, для нарезания крепежных резьб.

Основным и конструктивным элементами этих фрез являются: диаметр фрезы, диаметр отверстия, длина фрезы, число зубьев, форма зуба и впадины, направление стружечных канавок, размеры профиля резьбы.

Диаметр гребенчатой резьбовой фрезы:

$$d = D_0 + 2E + 2H,$$

где D_0 – диаметр посадочного отверстия, E – толщина корпуса фрезы, $E = (0,3-0,4)D_0$; H – глубина стружечной канавки, которая определяется как:

$$H = h_z + K + r + e,$$

где h_z – 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 виточка 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 $l = l_z + (2-3)P_i$, где l_z – длина нарезаемой резьбы, i – число заходов резьбы, P – шаг резьбы.

Длина фрезы не должна превышать 100 мм, так как с увеличением длины при термической обработке возможны большие искажения по шагу и профилю резьбы.

Число зубьев зависит от наружного диаметра d :

$$Z = (1,6-1,8) \sqrt{d}$$

Для уменьшения вибраций рекомендуется фрезы выполнять с углом наклона стружечных канавок $\omega = 5-10^\circ$.

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 $\gamma = 10-15^\circ$ – для легких сплавов и мягких сталей. Затылование по задней поверхности должно обеспечивать задний угол по вершине $\alpha = 8-10^\circ$ и на боковых сторонах профиля $\alpha = 4-5^\circ$.

Для обеспечения выхода резца при затыловании и круга при шлифовании профиля резьбы впадину делают как можно шире и угол $\theta = 30-45^\circ$, а ширину впадины 0,35–0,4 окружного шага фрезы.

Величину затылования назначают от 1,25 до 3 мм при изменении диаметра от 15 до 90 мм.

Для нарезания трапецидальных резьб с крупным шагом большого диа-

метра применяют дисковые резьбовые фрезы (рис. 6.14,б). Фрезы выполняют с трепаноченными, что позволяет создать инструмент с большим числом зубьев порядка 34 – 40 и получить на боковых кромках целесообразные величины задних углов $\alpha = 5-8^\circ$. У таких фрез в процессе работы находятся одновременно не менее двух зубьев в контакте с заготовкой, что создает условия для равномерного фрезерования.

Дисковые фрезы конструируются с чередующимися зубьями. Каждый зуб такой фрезы работает вершинной и одной боковой режущей кромкой, т.е. у каждого зуба фрезы одна боковая режущая кромка срезается. Для контроля профиля на фрезе предусматривается один полный зуб с обоими боковыми режущими кромками. Переменное срезание зубьев фрезы обеспечивает увеличение толщины среза на боковых режущих кромках, соответствующее соотношению усилий резания и повышение стойкости.

Для фрезерования коротких резьб принимают гребенчатые сборные охватывающие фрезы, оснащенные круглыми гребенками (рис.6.14,в). Гребенки 1 закрепляют в корпусе 2 звездочками 3, втулкой 4 и винтом 5. Для крепления на станине 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.

Для обработки наружных резьб большого диаметра применяют головки для скоростного фрезерования, которые представляют собой сборный инструмент (рис. 6.14,г), оснащенный резцами с пластинами из твердого сплава. В корпусе головки размещается от 2 до 12 резцов. Центр головки O_1 смещен относительно центра заготовки O на величину H . Резцы вступают в контакт с заготовкой в точке 1 и выходят из контакта в точке 2. Нарезание резьбы производится за один рабочий ход. Производительность обработки повышается в 3,5-3 раза по сравнению с фрезерованием дисковыми фрезами.

Резьбонарезные головки представляют собой сборный инструмент сложной конструкции, оснащенный комплектом круглых гребенок (рис. 6.15,а) или плоских плашек (рис. 6.15,б,в)..

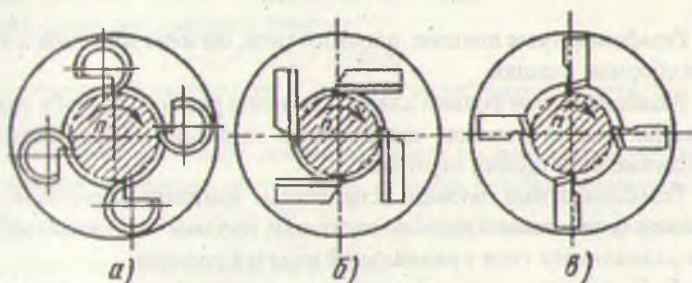


Рис. 6.15. Схема работы резьбонарезных головок

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 (рис. 6.15,а,в) – радиальные и тангенциальные (рис. 6.15,б); по кинематики движения вращающиеся для токарных полуавтоматов и невращающиеся для револьверных и резьбонарезных станков.

Для нарезания винтов, болтов головки, как правило, делают самооткрывающимися. По окончании нарезания резьбы гребенки автоматически расходятся, и головка без реверсирования на быстром ходу отводится в исходное положение.

6.5. Инструменты для накатывания резьбы

В массовом и крупносерийном производствах резьбовых деталей широко применяется высокопроизводительный процесс накатывания резьбы.

Накатывание резьбы – способ образования резьбы на деталях без снятия стружки методом пластического деформирования.

Резьбонакатывание по сравнению с резьбонарезанием имеет следующие преимущества:

- происходит улучшение физико-механических свойств поверхностного слоя металла, так как в результате наклепа усталостная прочность резьбы повышается на 20 – 40%;

- происходит 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 процессу шлифования;

- производительность при накатывании в десятки раз выше производительности при резьбонарезании.

Существуют следующие типы инструментов и способы накатывания резьбы.

1. Резьбонакатные плашки: плоского типа, сегментного типа и выдавливающие сборные плашки.

2. Резьбонакатные ролики для накатывания резьб по способу радиального движения подачи роликов, касательного движения подачи заготовок и с осевым движением подачи заготовок.

3. Резьбонакатные головки, оснащенные комплексом роликов: головки аксиального типа с осевой подачей заготовки, головки тангенциального типа, головки радиального типа с радиальной подачей роликов.

Выбор типа инструмента и способа накатывания зависит от типа резьбы и ее размеров, точности, длины и материала заготовки.

Плоские резбонакатные 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.

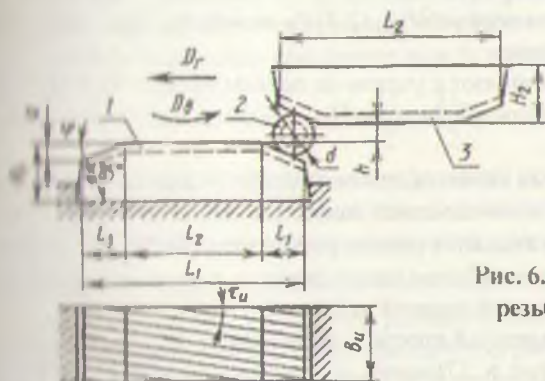


Рис. 6.16. Схема образования резьбы резбонакатными плашками

На рис. 6.16 показан способ накатывания резьбы двумя плашками, из которых одна 1 – неподвижна, а подвижная 3 совершает возвратно-поступательное движение. При главном движении D_r производится накатывание резьбы на заготовке 2. Движение плашки D_ϕ – 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 относительно 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:

$$a = (d - d_r) / 2 + X,$$

где X – принимают в пределах $0,07 - 0,2$ мм при шаге $3 - 24$ мм.

Калибрующая часть окончательно формирует резьбу, $l_2 = (2-3) p$.

Ширину B плашек 7 устанавливают с учетом возможности использования плашек с перестановкой по ширине не более 2 раз, ширина не должна превышать 70 мм:

$$B = 2 l_p + (2-3) P,$$

где l_p — длина накатываемой резьбы, $(2-3) P$ — величина, гарантирующая обработку заготовки по длине.

Толщину плашек принимают с учетом их перешлифовки; $H_1 = H_2 = 2,5-50$ мм, где H_1 — толщина подвижной плашки, H_2 — толщина неподвижной плашки.

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. 6.17) вращаются синхронно, и $V_1 = V_2 = V_3$, где V_1, V_2, V_3 — окружные скорости соответственно первого, второго роликов и заготовки. Заготовка вращается под действием роликов и ось заготовки располагается ниже центров роликов на 0,2–0,3 мм для предотвращения выталкивания заготовки в процессе накатывания.

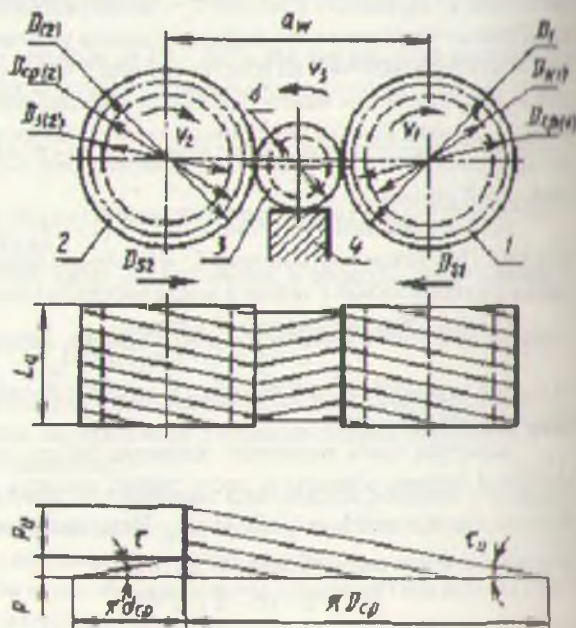


Рис. 6.17. Схема образования резьбы резьбонакатными роликами

Заготовки 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 $D_{с1}$ и $D_{с2}$), 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: $\tau = \tau_u$. 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:

$$tg \tau_u = \frac{P_u}{\pi \cdot D_{ср}}; \quad tg \tau = \frac{P}{\pi \cdot D_2};$$

$$\text{при } \tau_u = \tau, i = P_u / P = D_{ср} / d_2.$$

Число заходов i должно быть целым. Средний диаметр ролика назначают с учетом числа заходов ($D_{ср} = d_2 i$), конструкции станка и запаса на изнашивание. Новый ролик имеет завышенный средний диаметр, а перешлифованный заниженный.

Наружный диаметр нового ролика $D_{нов} = D_{ср.нов} + 2t_u'$, где t_u' — высота гофрированной резьбы ролика. Ширина ролика $L_u = l + (2-3)P$, где l — длина заготовки.

При накатывании с касательным движением подачи заготовок ролики находятся на постоянном межосевом расстоянии a_w друг от друга, и накатывание осуществляется с помощью подающих устройств — сепараторов (рис. 6.18, 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. 6.18, б). При одинаковых

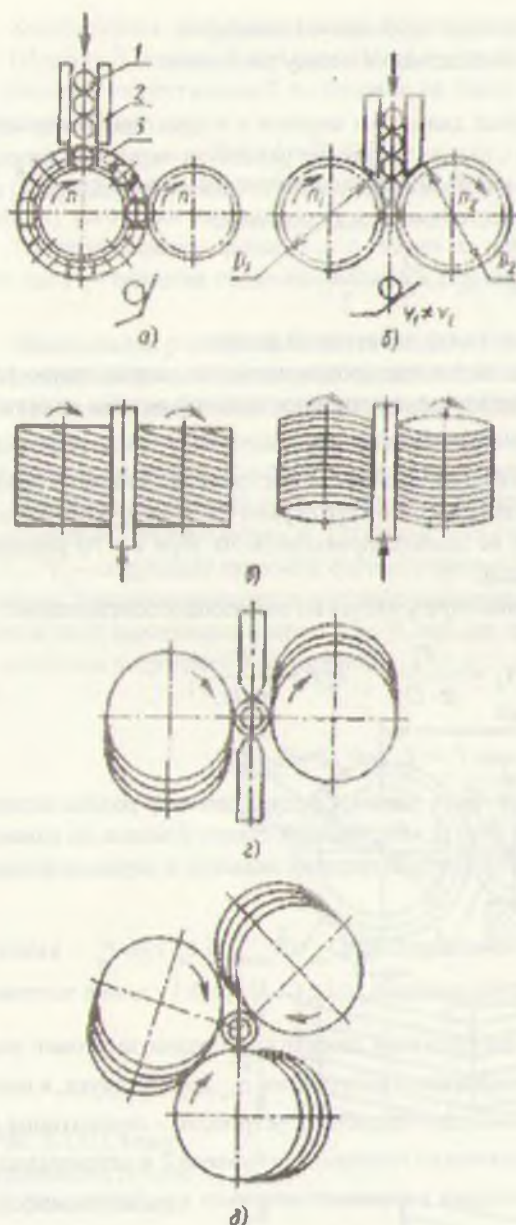


Рис. 6.18. Способы
резьбонакатывания

диаметрах роликов D_1 и D_2 , это достигается различными частотой их вращения n_1 и n_2 , а при одинаковой частоте вращения роликов — различными диаметрами.

С осевым движением подачи заготовок накатывают детали большой длины. Осевая подача осуществляется за счет осевой составляющей силы накатывания, возникающей при скрещивающемся расположении осей роликов. Скорость осевой подачи достигают 9000 мм/мин.

Наиболее распространенной схемой накатывания является накатывание двумя (рис. 6.18 в, г) или тремя роликами (рис. 6.18, д) с винтовой или винтовой нарезкой (рис. 6.18, в). При наличии кольцевой нарезки ролики наклонены относительно оси заготовки на угол подъема α накатываемой резьбы. При этом можно накатывание как правых, так и левых резьб различного диаметра путем изменения угла наклона шпинделей роликов.

Контрольные вопросы

- 1. Перечислите основные способы образования резьб на деталях.
- 2. Перечислите основные конструктивные элементы метчиков и определите их назначение.
- 3. Перечислите основные конструктивные элементы резбонарезных плашек и определите их назначение.
- 4. Перечислите основные преимущества резьбовых резцов по отношению к другим типам резьбового инструмента.
- 5. Перечислите основные конструкции резьбовых фрез и поясните принцип их работы.
- 6. Перечислите типы резбонакатных инструментов и поясните принцип их работы.
- 7. Перечислите основные преимущества резбонакатных инструментов относительно резбонарезных.

Глава 7.

Зуборезные инструменты

Зуборезные инструменты применяют для обработки зубьев зубчатых колес. Их конструкция определяется формой и размерами зубьев колес, кинематикой процесса обработки и условиями работы инструмента.

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 огибания. 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, для чистовой обработки шестерни 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 $m=0,1-100$ мм и наружным диаметром от 1 до 1000 мм.

7.1. 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. 7.1., а).

Ось Y совпадает с осью симметрии впадины зубьев, начало координат находится на окружности впадин зубьев нарезаемого колеса. Координаты произвольной точки M профиля режущей кромки, соответствующей точке профиля зубьев колеса, находящейся на окружности радиуса τ_M :

$$X_M = \tau_M \sin \eta_M; y_M = \tau_M \cos \eta_M - \tau_f \quad (7.1)$$

где $\eta_M = \eta_1 + \theta_M - \theta_1$, здесь $\eta_1 = \tau/2 - \psi = \pi/z_1 - S_1/2\tau_1$,

$\eta_1 = \pi/z_1 - S_1/2\tau_1 + \theta_M - \theta_1$, радиан, здесь τ - угловой шаг зубьев колеса, ψ - половина угловой толщины зуба по делительной окружности, θ_M , θ_1 - соответственно эвольвентный угол профиля в точке M зуба и на делительной окружности.

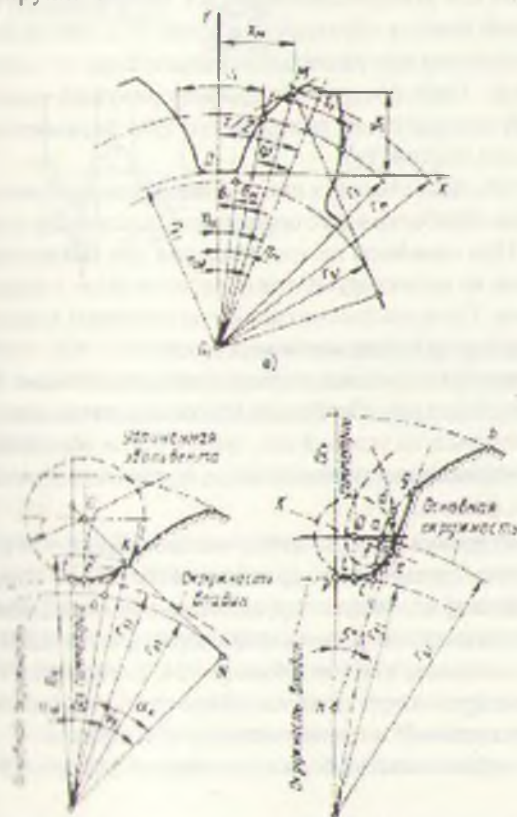


Рис. 7.1. Профиль режущей кромки зуборезного инструмента, работающего с профилитированием методом копирования: а - определение координат профиля; б, в - форма режущей кромки соответственно при $z > 34$ и при $z < 34$

По этим формулам может быть определен профиль режущей кромки, обрабатывающей профиль зуба колеса вне основной окружности (рис. 7.1., 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 следует определять, исходя из условия обеспечения отсутствия интерференции обработанной 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. 7.1., в) строят по касательной к удлинненной эвольвенте или эквидистанте к ней, т.е. траектории вершины зубной 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 (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.

Дисковыми фасонными фрезами с зубьями, затылованными в радиальном направлении (рис. 7.2, а, б), 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 $z_1 < 34$ (рис. 7.1., б) состоят из участков: эвольвентного $вк$, прямолинейного f_1 по наружной поверхности фрезы, сопряженных по дуге окружности $ек$, не выходящей в пределы указанной выше траектории вершины зуба сопряженного колеса. У фрез для обработки колес с меньшим числом зубьев ($z_1 < 34$, смотри рис. 7.1., в) профиль режущей кромки фрез имеет дополнительно прямолинейный участок eg , расположенный под углом 5° к перпендикуляру к оси фрезы.

Серийно фрезы изготовляют наборами из восьми (А) или 15 (В) штук каждого модуля.

Из-за неточности профиля режущих кромок, возможной неточности установки фрезы относительно нарезаемой заготовки и несовершенства делительных механизмов, обеспечивающих поворот заготовки на угловой шаг при

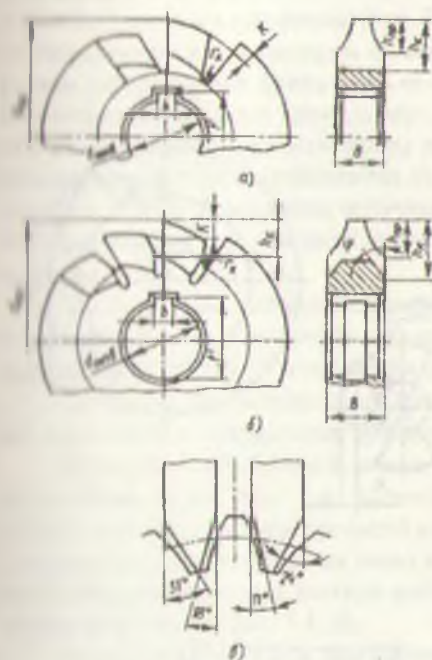


Рис. 7.2. Дисковая зуборезная фреза с прямой (а) и подфрезерованной по бокам (б) канавками, фрезы для черновой обработки с прямолинейным профилем режущих кромок (в)

обработке колеса, при переходе от одной впадины к следующей эти фрезы не обеспечивают высокой точности нарезаемых колес. Поэтому их применяют при изготовлении колес невысокой точности в единичном или мелкосерийном производстве.

Пальцевые фрезы (рис. 7.3., а) по конструкции аналогичны концевым фасонным фрезам.

При работе ось фрезы совмещается с осью симметрии впадин зубьев нарезаемого колеса. Относительно неё осуществляется главное вращательное движение зубьев фрезы. 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).

Направление образования задних углов, т.е. направление затылования (Рисунок 7.3., б) влияет на степень изменения нормальных задних углов и диаметральных размеров режущей части при переточках фрезы. При образова-

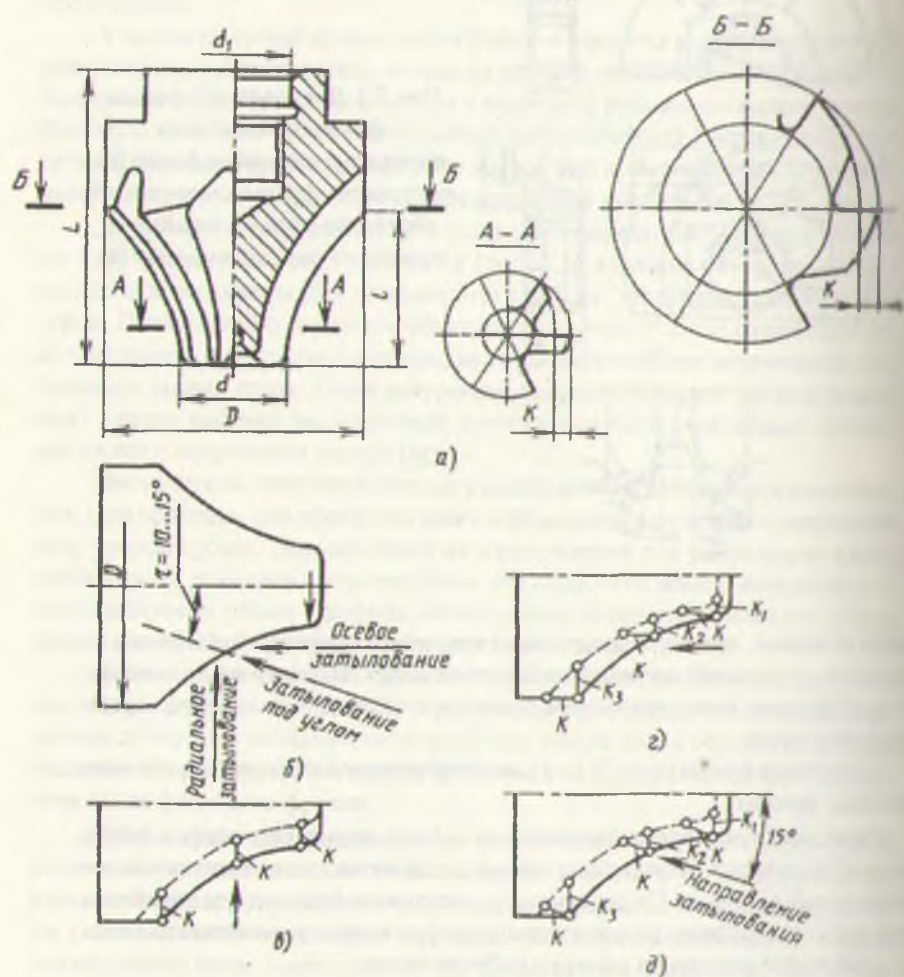


Рис. 7.3. Пальцевая фреза (а) и направления образования её задних поверхностей (б-д)

нии задних углов в радиальном направлении (при затыловании в направлении, перпендикулярном к оси фрезы) (Рис. 7.3, в) при переточках фрезы получают большее изменение толщины зубьев колеса. Они не могут быть компенсированы перемещением фрезы вдоль её оси, так как при этом получаются большие искажения профиля зубьев колеса. Компенсация изменения диаметральных размеров рабочей части фрезы при её переточках возможна у фрез с осевым направлением затылования за счет увеличения высоты впадины, но при этом методе затылования получаются 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 углом 15° к оси фрезы (рис. 7.3., д).

Пильцевые фрезы применяют для нарезания колес $m=10-15$ мм с прямыми, винтовыми и шевронными зубьями.

Зубодолбежной головкой можно одновременно обрабатывать все впадины зубьев колеса (рис. 7.4., а) резцами с фасонным профилем режущих кромок, соответствующем профилю впадин обрабатываемого колеса. Резцы 3 размещены в прямоугольных пазах корпуса 1 головки. Головка закреплена на станке неподвижно, а главное рабочее движение совершает заготовка в направлении её оси (рис. 7.4., б).

Резцы 2 периодически перемещаются в радиальном направлении перед каждым рабочим ходом. Подача на глубину (рис. 7.4., в) осуществляется под действием конусов 3 и 4 станка на наклонные хвостовики резцов (рис. 7.4., г); перед обратным ходом резцы немного отводят, чтобы избежать трения по задним поверхностям резцов. Время обработки зависит от высоты зубьев (впадин) и не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса.

Протяжки применяют для нарезания зубчатых колес внутреннего и наружного профиля. Протяжки для колес внутреннего профиля аналогичны шлиновым протяжкам с фасонным эвольвентным профилем режущих кромок. Протяжки для обработки колес наружного профиля могут быть однопрофильные, секторного и охватывающего типов. Протяжки однопрофильного типа применяют для последовательной обработки впадины с поворотом заготовки (поделением) на угловой шаг (рис. 7.5, а). Применяют протяжки прямолинейной (типа циночных) или дисковой конструкции.

Протяжки секторного типа (рис. 7.5., 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 различных конструктивных выполнений.

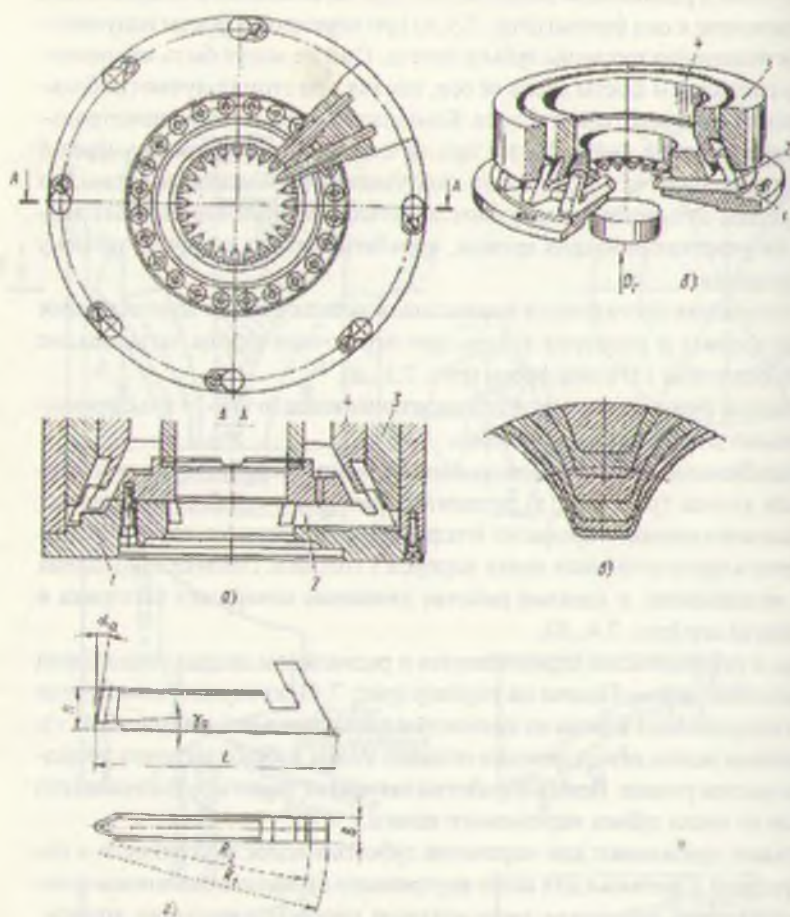


Рис. 7.4. Зубодолбежная головка

У сборной протяжки (рис. 7.5., в) в корпусе в виде трубы установлены кольца с внутренними режущими зубьями эвольвентного профиля, соответствующего профилю впадин зубьев нарезаемого колеса. Высота зубьев в кольцах, расположенных по длине протяжки, изменяется для создания подъема на зуб. У протяжек другого вида (рис. 7.5, г) в продольных внутренних пазах корпуса установлены режущие секции, аналогичные рабочей части шпоночных протяжек с профилем, соответствующим впадинам зубьев обрабатываемого колеса. В обоих видах протяжек рабочее движение резания сообщается заготовке.

Для чистовой обработки предварительно образованных колес применяют шлифовальные круги дисковой формы с рабочим профилем, соответствующим профилю впадины зубьев колеса. Профиль образуется при фасонной проточке круга алмазным карандашом на специальных приспособлениях, обеспечивающих теоретическую эвольвентную форму, с помощью копирных приспособлений по шаблонам или путем замены эвольвентного профиля дугами окружности.

7.2. Зуборезные инструменты, работающие с профилированием методом обкатки

Особенностью кинематики и работы обкатных инструментов является наличие сложного обкатного движения режущих кромок инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки. Это движение создает не-

прерывное изменение положения инструментальной поверхности, образуемой режущими кромками инструмента в процессе главного движения, относительно обрабатываемой поверхности заготовки.

Главное движение D режущих кромок инструмента может быть продольно-поступательное и вращательное (рис 7.6). Движение обката D_0 обычно создается в направлении, перпендикулярном к вектору скорости v главного движения или близком к нему.

Движение обката D_0 процесса обработки образует сложное перемещение инструментальной поверхности (поверхности, образуемой режущими кромками в результирующем движении D , резания) относительно обрабатываемой поверхности заготовки. Движение обката D_0 процесса обработки образуется как результат перемещения режущих кромок инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки.

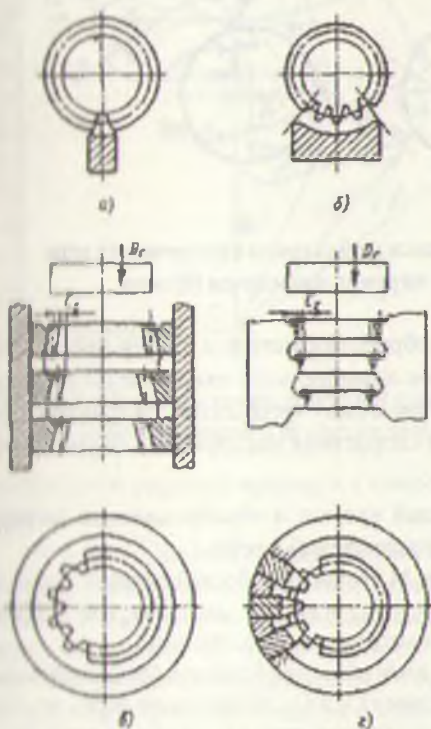


Рис. 7.5. Протяжки для обработки зубчатых колес

При этом инструмент и заготовка вращаются вокруг своих осей (движения $D\omega_0$ и $D\omega_1$), взаимное положение которых может быть параллельным, пересекающимся и перекрывающимся; их положение влияет на конструкцию инструмента.

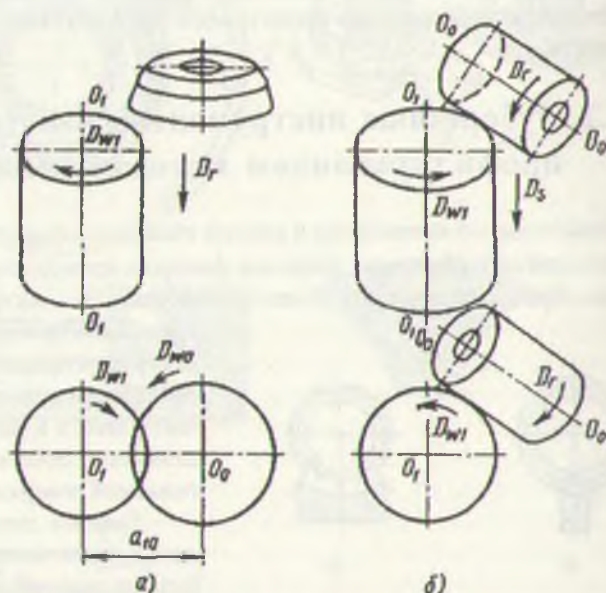


Рис. 7.6. Движение заготовки и обкатного инструмента при параллельном (а) и перекрывающихся (б) осях

При наиболее простом виде обработки методом обката инструмент и заготовка совершают согласованное вращательное движение вокруг параллельных осей (рис. 7.6, а), расстояние между которыми a_{10} . Характер движения обката определяется угловыми скоростями инструмента ω_0 и заготовки ω_1 (рис. 7.7).

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_{OM} и заготовки v_{1M} равны: $v_{OM} = r_{OM} \omega_0$, $v_{1M} = r_{1M} \omega_1$, 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 которой $v_0 = v_1$. Окружности с центрами O_0 и O_1 , проходящие через эту точку, в процессе движения обката перекрываются друг по другу без скольжения. Они являются центроидами — начальными окружностями, их радиусы r_0 и r_1 , причем $r_0/r_1 = \omega_1/\omega_0$.

В результате движения обката режущая кромка инструмента относительно обрабатываемой поверхности поворачивается вокруг полюса Р. Скорость перемещения точки М режущей кромки относительно заготовки:

$$v_{01(M)} = l_M (\omega_0 + \omega_1) \quad (7.1)$$

где l_M – радиус – вектор точки M относительно полюса P , $l_M = PM$ и направлен перпендикулярно к вектору PM .

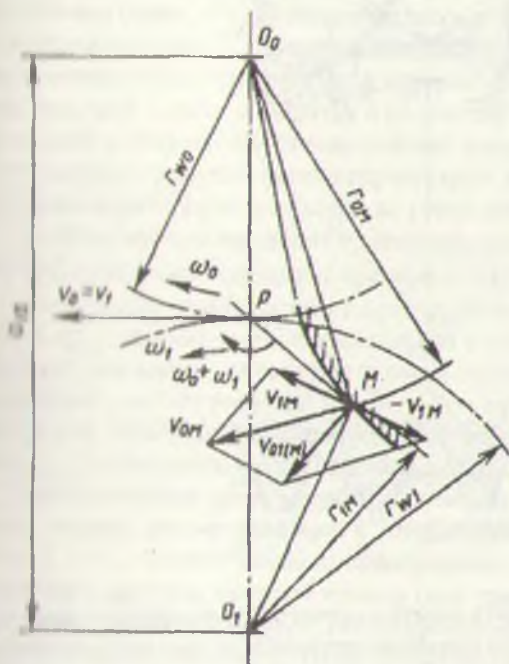


Рис. 7.7. Скорость точки режущей кромки в обихном движении и её составляющие

по длине режущей кромки и в каждой её точке в процессе обкатки (Рис. 7, 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 на этом его в плане Φ_M для данной точки M режущей кромки. Угол Φ_M изменяется как по длине режущей кромки в каждом её положении, так и для каждой её точки в процессе обкатной обработки.

Разложим скорость подачи v_s на два направления: по касательной к кромке $v_{s\tau}$ и по нормали к ней $v_{s\alpha}$:

Скорость $n_{\text{инстр}}$ 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 n_s режущей кромки в тело детали, т.е. перемещение режущей кромки за один цикл обработки, например, между двумя последующими зубьями. Так же как и в других режущих инструментах, главное движение D_r инструмента и движение подачи D_s образуют результирующее движение резания D_c .

Подача S и направление её скорости n_s изменя-

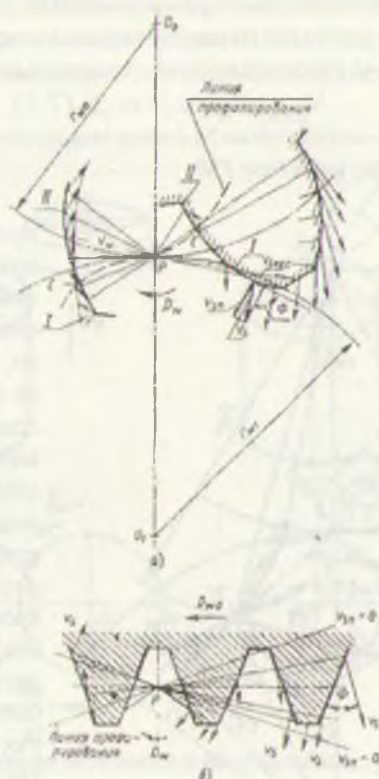


Рис. 7.8. Изменение скорости подачи по длине режущей кромки в процессе обработки методом обката при криволинейной (а) и трапецидальной (б) формах режущей кромки

$$v_{SM} = v_{SM} \sin \Phi_M, \quad v_{SKACM} = v_{SM} \cos \Phi_M \quad (7.2)$$

Направление и соотношение этих скоростей показывают характер воздействия режущей 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 и тело заготовки. Её 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 её положения относительно полюса профилирования Р (рис. 7.8, а). В некоторой точке С режущей кромки $v_{sn} = 0$. В этой точке нормаль к профилю режущей кромки проходит через полюс Р, угол в плане $\varphi = 0$. Режущая кромка в точке С не углубляется в тело заготовки, а производит её окончательную обра-

битку (профилирование, т.е. формообразование поверхности заготовки). Эта точка режущей кромки приобретает свойства её 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 С – 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 её 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 $v_{кас}$, направленная по касательной к последней 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 её вершины. Значение $v_{кас}$ также изменяется в процессе обкатки по длине режущей кромки.

Геометрическое место точек последовательных положений вершин режущей кромки, рассматриваемое в неподвижном пространстве, связано 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 Р при перемещении профиля и движении обката. Точки линии профилирования определяют на режущей кромке в каждом её 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 скоростей подачи точек режущей кромки реечного обкатного инструмента показано на рисунке 7.8, 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 её перемещение относительно неподвижной заготовки (рис. 7.9). Остановим движение обката заготовки и сообщим суммарное обкатное перемещение только инст-

рументу. При этом центр тяжести инструмента будет перекачиваться без скольжения по неподвижной центроиде заготовки.

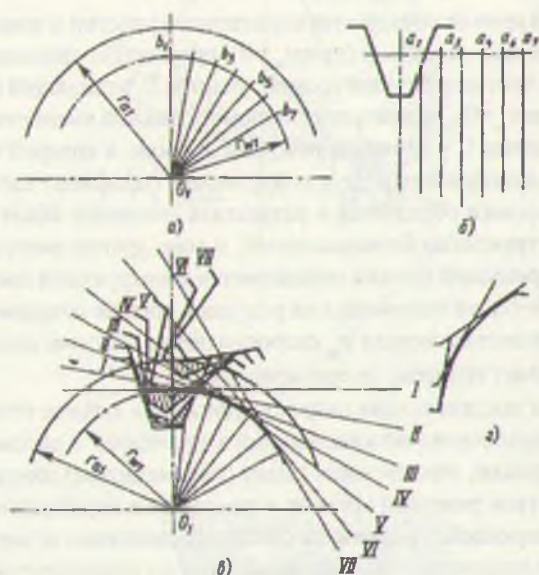


Рис. 7.9. Образование впадины заготовки методом огибания при обработке методом обкатки

Рассмотрим последовательности удаления припуска и формирование поверхности обкатным инструментом. Заготовка, радиус наружной окружности (окружности вершин) которой r_{01} (рис. 7.9, а), обрабатывается инструментом с трапецидальным профилем режущей кромки и прямолинейной центроидой (рис. 7.9., б). Радиус начальной окружности заготовки r_{01} . 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. $a_1a_2=a_2a_3=...=v_1v_2=v_2v_3=...$. Совмещая последовательно одноименные точки а и в, 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. 7.9, в, начальное положение обработки) режущая кромка касается окружной поверхности заготовки. При перемещении режу-

ной 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.

Площадь между последовательными положениями режущих кромок при перемещении на долю цикла обработки, например на один зуб инструмента или на один рабочий ход, определяет сечение срезаемого слоя. При этом поверхность заготовки образуется в результате огибания её последовательными положениями режущей кромки (рис. 7.9, г). Такой способ образования поверхности заготовки называют профилированием огибания. Он является наиболее распространенным при обработке методом обкатки.

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 обрабатываемому профилю заготовки определяется значением $n_{\text{скаб}}$. Обработанная поверхность заготовки образуется последовательными резами с перерывами, из-за чего на ней получается огранка.

Детальные 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.

7.3. Зубострогальные гребенки

Гребенка является самым простым по конструкции обкатным инструментом в виде зубчатой рейки для нарезания зубчатых колес. Обкатное движение образуется кинематикой станка. В процессе обработки гребенка совершает главное движение D_1 по направлению боковых поверхностей образуемого зуба, при обработке прямозубого колеса главное движение параллельно оси и при обработке колес с винтовым зубом D_1 — наклонно к ней (рис. 7.10).

Одновременно с главным движением происходит движение $D_{\text{об}}$ 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_1 и обката $D_{\text{об}}$. Для нарезания всех зубьев 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 ис-

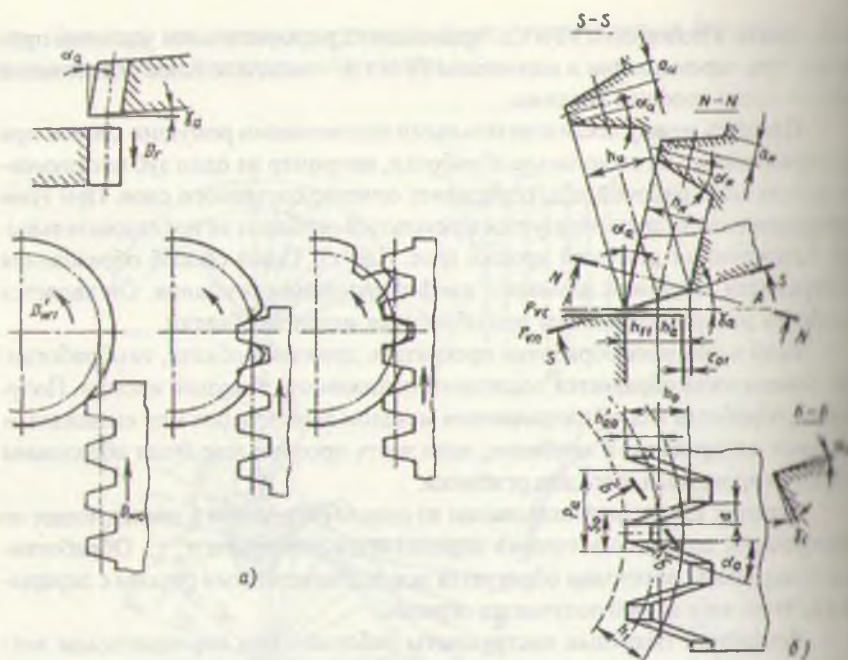


Рисунок 7.10. Кинематика нарезания зубьев колеса гребенкой (а) и определение размеров зубьев гребенки (б)

ходное 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. 7.10, б). Для нарезания прямозубых колес зубья гребенки в инструментальной системе координат расположены в плоскостях, перпендикулярных 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: $P_0 = P_1 + \Delta P$, $S_0 = e_1 = P_1 \cdot S_1$; $\alpha_0 = \alpha_1$;

$$h_{a0}' = h_{f1}; \quad h_{f0}' = h_{a1} + c_{10}$$

Для образования задних углов задние поверхности зубьев смещаются под углом α_0 к вектору скорости главного движения, передняя поверхность в процессе работы расположена наклонно под углом γ_a .

Из-за наличия у гребенки передних и задних углов высотные размеры и форма профиля в инструментальной системе в плоскости передней поверхности $N-N_1$ и в плоскости, нормальной к задней поверхности зуба $N-N_1$, отличны от их размеров в статической системе координат в проекции на торцевую плоскость заточки. Размеры в инструментальной системе координат в плоскости $N-N_1$ необходимы для контроля режущих кромок гребенки, размеры в сечении $N-N_1$, нормальном к задним поверхностям зубьев, - для изготовления гребенки (шлифования профиля зубьев). Размеры по длине гребенки (начальной формы) во всех рассматриваемых сечениях не изменяются.

Размеры по высоте зубьев:

$$h_n = \frac{h'_0}{\cos \gamma_a}; \quad h_n = h'_0 \frac{\cos(\alpha_n + \gamma_a)}{\cos \gamma_a}; \quad \operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \gamma_a;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_1 \frac{\cos \gamma_a}{\cos(\alpha_n + \gamma_a)}.$$

Изменения статических геометрических параметров на боковых сторонах гребенки определяют в зависимости от геометрических параметров вершины режущей кромки (α_n и γ_n) и угла профиля α_1 .

В нормальном сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{\sin \alpha_n \sin \alpha_1 \cos \gamma_a}{\cos(\alpha_n + \gamma_a) + \sin \alpha_n \sin \gamma_n \sin^2 \alpha_1};$$

$$\operatorname{tg} \gamma_c = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \alpha_n$$

При принятых $\gamma_n = 6^\circ 30'$ и $\alpha_n = 5^\circ 30'$ у гребенки для нарезания колес с $\alpha_1 = 20^\circ$ получаются $\alpha_c = 1^\circ 54'$ и $\gamma_c = 2^\circ 10'$.

При обработке вязких материалов для облегчения условий резания и увеличения передних углов переднюю поверхность делают фасонной дуговой формы: при модулях до 10 мм делают одну цилиндрическую лунку (рис. 7.11, а), при модулях 10–24 мм – две лунки, параллельные режущим кромкам (рис. 7.11, б). При этой добавочной заточке передние углы увеличиваются на 11–13°, статические передние углы получаются равными 13–15°. Размеры зуба гребенки для нарезания колес без среза их зубьев у окружности выступов показаны на рисунке 7.11, в, со срезом профиля – на рисунке 7.11, г.

Для предварительного нарезания зубьев колес под последнюю обработку гребенкой или шлифование зубья гребенки делают с увеличенной на Δh высотой головки и с уменьшенной на Δs толщиной зуба (рис. 7.11, д):

$$\Delta h = C_1 \sqrt{m}; \quad \Delta s = C_2 \sqrt{m},$$

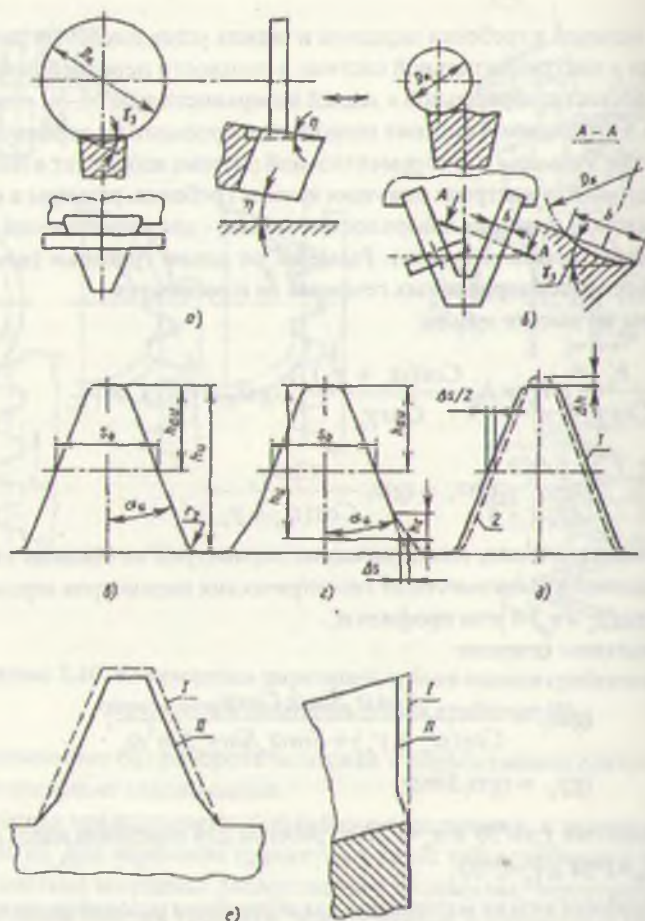


Рис. 7.11. Передние углы и размеры зубьев гребенки: а, б – увеличение передних углов гребенки соответственно одной и двумя лунками, в, д – размеры зубьев гребенки, е – изменение формы передней поверхности для корректировки профиля режущих кромок

где $C_1=0,1-0,2$, для черновых гребенок, $C_2=0,4$, для обработки под шлифованием $C_2=0,2$.

Размеры режущей кромки при неизменной форме задней поверхности зубьев можно изменить фасонной формой передней поверхности (ступенчатой или криволинейной) (рис. 7.11, е). Форма и размеры режущей кромки на передней поверхности II из-за наличия задних углов изменяются по сравнению с первоначальными по поверхностям I. Изменением формы передней

поверхности путем заточки можно обеспечить коррекцию, т.е. изменить форму профиля режущей кромки гребенки при неизменной форме её 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.

7.4. 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. 7.12, а). Долбяк совершает возвратно-поступательное главное движение D_1 параллельно оси нарезаемой заготовки.

Кроме того, долбяк и заготовка вращаются вокруг своих осей, обеспечивая движение обката D_{ω} и D_{ω_1} , которое образует движение подачи режущих кромок относительно обрабатываемой заготовки. Главное движение и движение обката создают результирующее движение D_2 , 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 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_{ω} 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 рисунке 7.13 показаны три сечения зуба долбяка и соответствующие им положения исходного контура. Сечение I – I

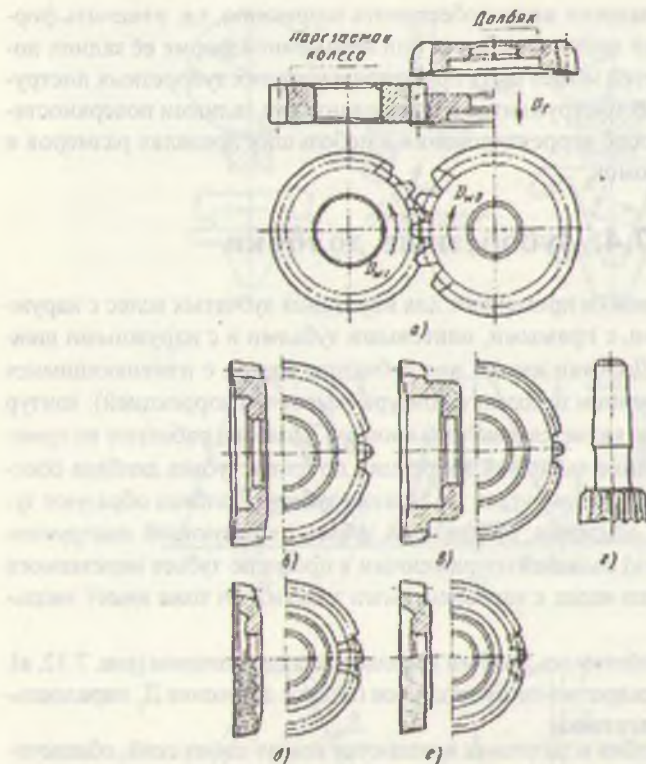


Рис. 7.12. Схема работы долбяка (а) и типы зуборезных долбяков (б - е)

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 перекатывается по делительной окружности долбяка. Полус Р (рис. 7.13, б) находится на делительной окружности. В сечении I – I смещение положительно ($x>0$), средняя линия рейки (ср. л.) отстоит от делительной окружности долбяка и не совпадает с начальной прямой (нач. пр.). Линия профилирования (л. п.) перпендикулярна к профилю зубьев рейки и проходит через полюс Р, её 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. 7.13, в), средняя линия инструментальной рейки совпадает с начальной прямой и перекачивается в проекции 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. 7.13, д), а толщина зуба по окружности вершин уменьшается по сравнению с толщиной S_{a0}'' в сечении II – II (рис. 7.13, е).

В сечении III – III при $x<0$ (рис. 7.13, г) 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 ко дну впадины зубьев рейки. Толщина зуба S_0' по дуге делительной окружности уменьшается, а толщина зуба S_{a0}' по окружности вершин увеличивается по сравнению с S_0'' и S_{a0}'' 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 $h_{f0}'''=h_{a1}'+c_{f0}'$; 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 изготовляют трех основных видов: дисковые (рис. 7.11, б), чашечные (рис. 7.11, в) и хвостовые (рис. 7.11, г). Базой дисковых и чашечных долбяков являются отверстие и внешний базовый торец. Долбяки на штосселе зубофрезерного 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 (рис. 7.11, в). Хвостовые долбяки применяют обычно для 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.

$$\text{Диаметр делительной окружности } d_0 = m_0 z_0. \quad (7.3)$$

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) составляет:

$$D_{bn} = d_0 \cos \alpha_0 \quad (7.4)$$

Размеры зубчатого венца долбяка определяют в зависимости от коэффициента смещения x_0 или расстояния A между рассматриваемым и исходным

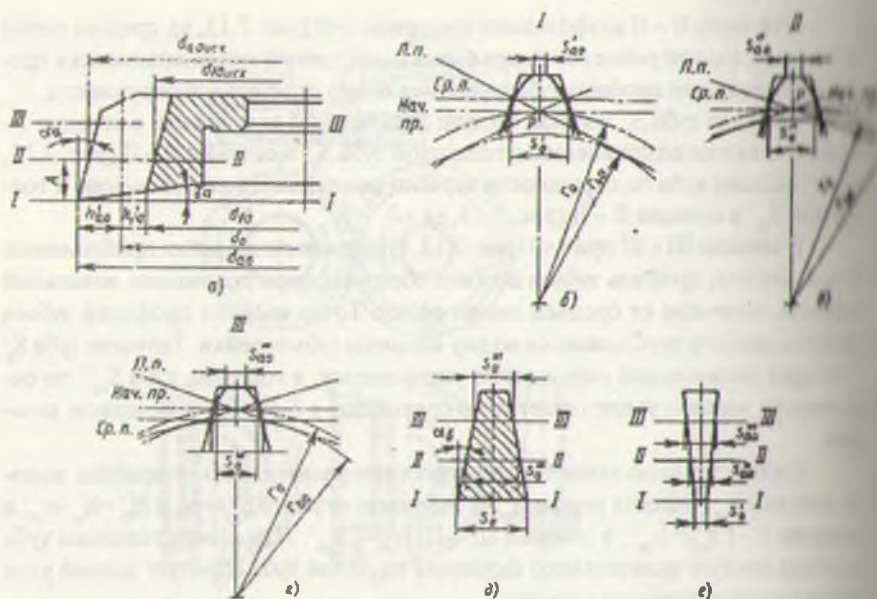


Рис. 7.13. Диаметральные размеры зубьев долбяка (а) и размеры зуба в различных сечениях (б-е)

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 на окружности $d_{ф0}$ вершин зубьев долбяка:

$$x_0 m_0 = A \tan \alpha \quad (7.5)$$

Размеры зубьев в плоскости переднего торца условно определяют в плоскости, перпендикулярной к оси долбяка, проходящей через вершины его зубьев:

$$\begin{aligned} h_{ф0}' &= h_{ф0} + x_0 m_0 = h_{ф0} + 2A \tan \alpha; \\ h_{ф0}'' &= h_{ф0} - x_0 m_0 = h_{ф0} - 2A \tan \alpha; \end{aligned} \quad (7.6)$$

в исходном сечении $h_{ф0} = h_{ф0}$; $h_{ф0} = h_{ф0} + C_{10}$.

Диаметры окружностей вершин и впадин в плоскости переднего торца

$$d_{ф0}' = d_{ф0} + 2h_{ф0}'; \quad d_{ф0}'' = d_{ф0} - 2h_{ф0}'' \quad (7.7)$$

Толщину зуба долбяка определяют в плоскости переднего торца (без учета влияния, вносимого наличием переднего угла γ). На рисунке 7.14, а показаны два совмещенных сечения зуба долбяка и инструментальной рейки плоскостями I-I и II-II.

На нижней проекции рисунка 7.14, а показаны сечения зуба долбяка

делительным цилиндром: толщина зуба долбяка по дуге делительной окружности в исходном сечении (в сечении II – II) равна ширине впадины нарезаемого колеса: $S_0'' = e_1$.

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 $x_0 m_0 = A \operatorname{tg} \alpha$, получим $k = 2A \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \alpha_0$;

$$\operatorname{tg} \alpha b = k/A = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (7.8)$$

Ширина впадин нарезаемого колеса может отличаться от номинального ($p/2 - \pi m/2$) для образования бокового зазора в передаче. При проектировании долбяка для данного колеса размер e_1 указан на чертеже колеса. Для стандартных долбяков необходимое для создания бокового зазора передачи увеличение ΔS толщины зуба долбяка установлено усредненным в зависимости от m :

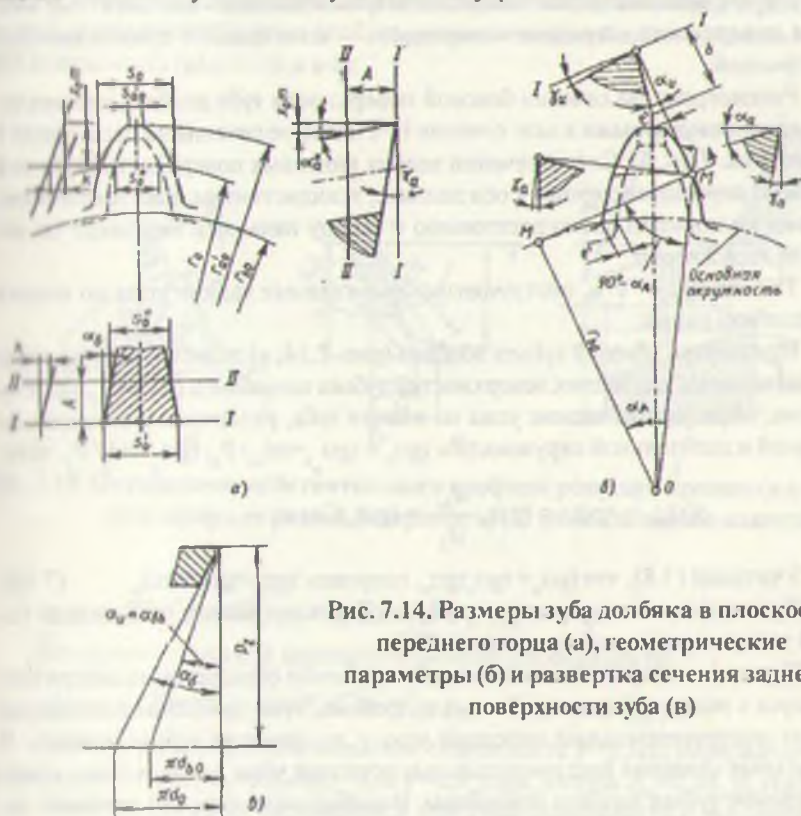


Рис. 7.14. Размеры зуба долбяка в плоскости переднего торца (а), геометрические параметры (б) и развертка сечения задней поверхности зуба (в)

M	1-1,5	2-2,5	3-3,5	4-5	5-6	7-8	9-10	11-12
ΔS	0,09	0,1	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20

Толщина зуба в плоскости II – II исходного сечения:

$$S_o'' = pm/2 + \Delta S \quad (7.9)$$

Приведенные значения m и ΔS обеспечивают наименьший гарантированный боковой зазор, приблизительно для степени точности 6 по сопряжению.

Каждый зуб долбяка имеет три режущих 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), образуется задние α_a и передние γ_a углы. У стандартных долбяков $\alpha_a = 6^\circ$ 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. 7.14, 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. 7.14, в) делительным и основным цилиндрам 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 $\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_{\sigma b} = \pi d_{\sigma b} / P_z$; $\operatorname{tg} \alpha_n = \pi d_{\sigma} / P_z$, отку-

да получаем $\operatorname{tg} \alpha_{\sigma b} = \operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_{\sigma} \frac{d_{\sigma b}}{d_{\sigma}} = \operatorname{tg} \alpha_{\sigma} \cos \alpha_0$

Учитывая (7.8), что $\operatorname{tg} \alpha_{\sigma} = \operatorname{tg} \alpha_a \operatorname{tg} \alpha_0$, получаем $\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_a \sin \alpha_0$. (7.10)

При стандартных значениях $\alpha_a = 6^\circ$ у долбяков для колес $\alpha = 20^\circ$, задний боковой угол в нормальном сечении $\alpha_n = 2^\circ 4'$.

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 $\alpha_{\text{ом}}$ в данной точке M режущей кромки. Инструментальный главный передний угол (рис. 7.14, б) определяют по формуле: $\operatorname{tg} \gamma_{\text{нм}} = \operatorname{tg} \gamma_a \sin \alpha_{\text{ом}}$. (7.11)

В приведенной формуле не учтен угол наклона режущей кромки λ , но ввиду малой величины этого угла его влияние несущественно.

Угол $\alpha_{\text{ом}}$ профиля по высоте зуба у большинства долбяков изменяется от 0 до 30° , передний угол в нормальном сечении у долбяков для колес $\alpha_n = 20^\circ$ изменяется от 0 до $3-4^\circ$. Для увеличения угла $\alpha_{\text{нм}}$ может быть сделана дополнительная заточка передней поверхности, аналогичная дополнительной заточке 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. 7.15, а и б):

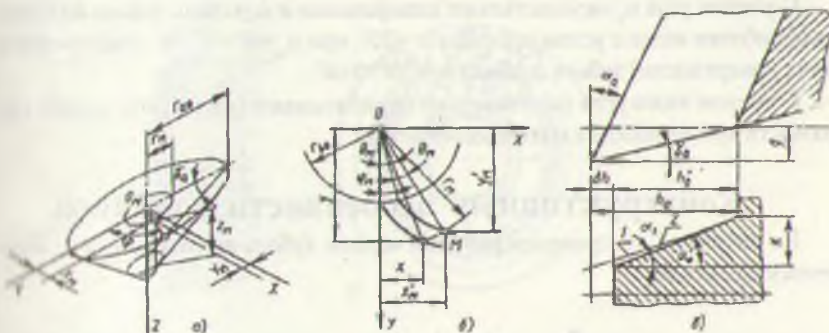


Рис. 7.15. Определение действительного профиля режущей кромки (а и б) и угла профиля задней поверхности (в) зубьев долбяков

$$x = r_m \sin(\varphi + \theta); y = r_m \cos(\varphi + \theta); z = P\varphi.$$

Координаты точки М передней конической поверхности:

$$x_M = r_m \sin \varphi'_M; y = r_m \cos \varphi'_M; z_M = (r_{a0} - r_m) \operatorname{tg} \gamma_a.$$

Параметр эвольвентной винтовой поверхности $P = p_z / 2\pi$, определяют по ходу (рис. 7.14, в) $P_z = p_{d0} \operatorname{ctg} \alpha_n$ или $P = 0,5 d_{b0} \operatorname{ctg} \alpha_n$, откуда $Z_M = 0,5 d_{b0} \operatorname{ctg} \alpha_n$.

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 t_M от оси долбяка

$$\varphi_M = (r_{ao} + r_M) \operatorname{tg} \gamma_a / (r_{ho} \operatorname{ctg} \alpha_n), \text{ рад.}$$

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 торцевую плоскость долбяка, производящую образование профиля нарезаемых зубьев, требуется коррекция формы поверхностей зубьев.

На рисунке 7.15, в показаны проекции на плоскость, перпендикулярную оси долбяка, профиля 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:

$$\operatorname{tg} \alpha'_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 - \operatorname{tg} \alpha_{ao} \operatorname{tg} \gamma_{ao}} \quad (7.12)$$

С учетом угла α'_0 осуществляют шлифование и контроль зубьев долбяка. Для обработки колес с углом профиля $\alpha_1 = 20^\circ$, при $\alpha_{ao} = 6^\circ$ и $\gamma_{ao} = 5^\circ$ 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.

Конструктивные особенности долбяков

На рисунке 7.16 приведен рабочий чертеж зуборезного долбяка из быстрорежущей стали.

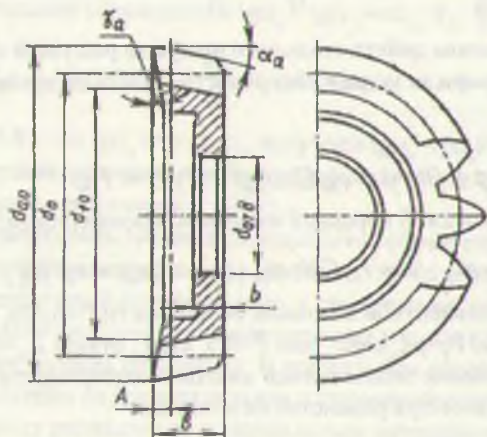


Рис. 7.16. Зуборезный долбяк

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 металлов из труднообрабатываемых материалов. Пластины припаивают на каждый зуб (рис. 7.17, а). Предложена конструкция долбяков с механическим креплением зубьев 2 из твердого сплава на корпусе 1 (рис. 7.17, б), для центрирования твердосплавных зубьев применяют специальный сепаратор 3.

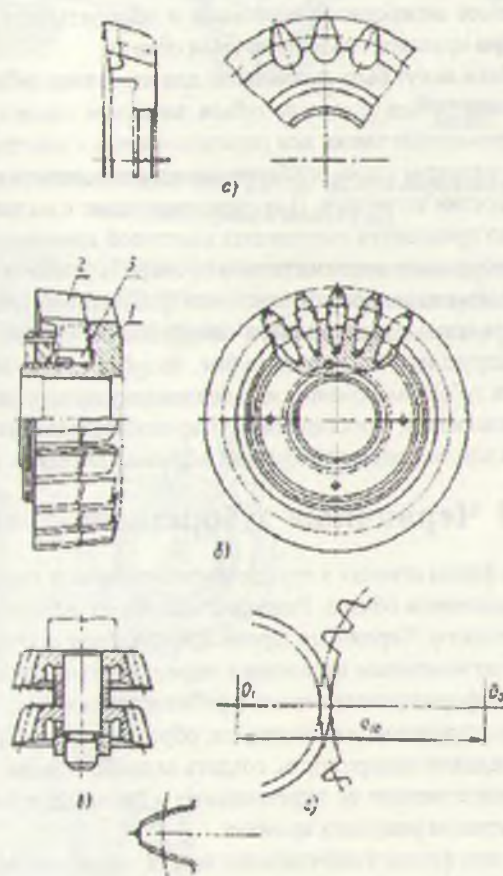


Рис. 7.17. Виды долбяков: а – составной с напайными твердосплавными пластинами, б – сборный с твердосплавными зубьями, в – ступенчатый, г – сегментный

Ступенчатые долбяки применяют для повышения производительности. Два или три долбяка устанавливают на одной оправке. Нижний долбяк осуществляет черновую обработку, верхний – чистовую (рис. 7.17, в).

Сегментные долбяки (рис. 7.17, 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 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 нарезания головок зубьев нарезаемого колеса при врезании (радиальной подачи).

Долбяки для колес с винтовыми и шевронными зубьями (рис. 7.12, д, е) имеют ту же конструкцию, что и прямозубые, но зубья у них – винтовые. Перпендикулярную поверхность зубьев выполняют или перпендикулярно к направлению зуба, или в торцевой плоскости, в последнем случае необходимо специальная заточка режущих кромок для получения требуемых значений передних углов.

7.5 Червячные зуборезные фрезы

Червячные фрезы относят к группе многолезвийных инструментов с конструктивным движением обката. Режущие кромки их зубьев расположены на винтовой поверхности. Червячная фреза представляет собой исходный червяк, с точечным мгновенным касанием с поверхностью обрабатываемой детали. Чтобы трансформировать червяк в работоспособный инструмент, необходимо прорезать стружечные канавки, т.е. образовать пространство для скола стружки и переднюю поверхность, создать заднюю поверхность, обеспечивающую беспрепятственное её перемещение в процессе резания и положительные задние углы на режущих кромках.

При работе оси фрезы и нарезаемого колеса перекрещиваются (рис. 7.18, а). При главном вращательном движении фрезы D_f режущие кромки выступают в контакт с заготовкой в последовательно смещенных положениях, что в сочетании с вращательным движением заготовки образует движение обката в процессе обработки (рис. 7.18, в). Образование обработанной поверхности зубьев заготовки происходит при профилировании по методу огибания (Рисунок 7.18, б).

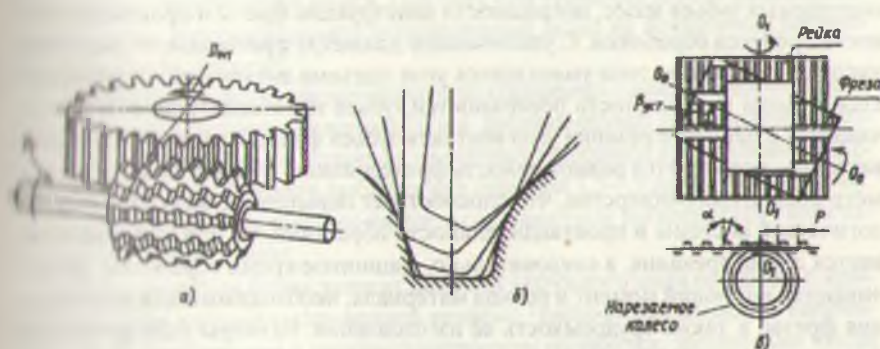


Рис. 7.18. Схема работы червячной фрезы (а, в) и образование профиля впадины зубьев колеса (б)

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 (рис. 7.19).

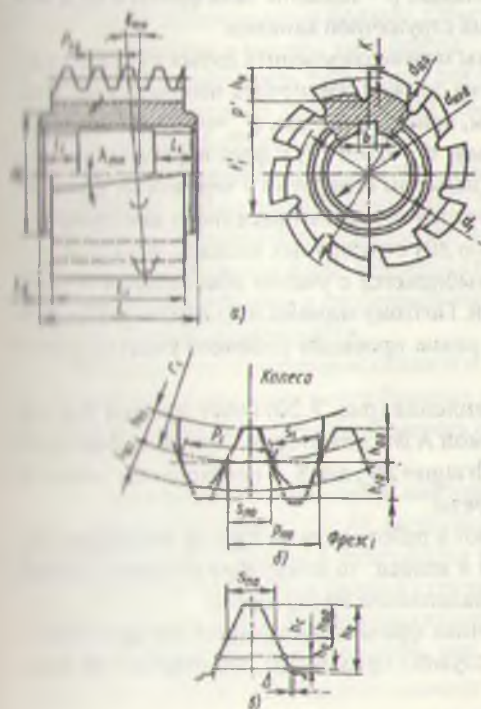


Рис. 7.19. Червячная зуборезная фреза (а), размеры зуба (б) и зуб фрезы (в)

Диаметральные размеры фрезы влияют на её конструкцию, точность получаемых зубьев колес, погрешности конструкции фрезы и производительность процесса обработки. С увеличением диаметра фрезы можно увеличить число её зубьев, при этом уменьшится угол подъема витков фрезы, уменьшится огранка и волнистость поверхностей зубьев нарезаемого колеса, увеличивается в процессе резания угол контакта зубьев фрезы и заготовки, а следовательно, повышается равномерность фрезерования. Можно увеличить диаметр посадочного отверстия, что способствует повышению жесткости технологической системы и производительности обработки, но при этом увеличивается длина врезания, а следовательно, машинное время обработки, увеличиваются крутящий момент и расход материала, необходимый для изготовления фрезы, а также трудоемкость её изготовления. Размеры узла крепления фрезы на станке ограничивают максимально допустимый ее диаметр. Ориентировочно диаметр фрезы может быть определен, исходя из угла $\gamma_{\text{по}}$ подъема витков фрезы, который нежелателен больше 3° , $d_0 = P_{\text{по}} / (\pi \sin \gamma_{\text{по}})$.

При назначении диаметра фрезы следует учитывать диаметр крепежного отверстия, высоту стружечной канавки и толщину поперечного сечения тела фрезы (с учетом шпоночной канавки), обеспечивающую ее прочность и жесткость. Необходимо, чтобы $d_{\text{отв}} \geq d_{\text{отв}} + 2h_k + 2p$ или $d_{\text{отв}} \geq 2h_k + 2p + 2(t'_1 - 0,5d_{\text{отв}})$, (7.13) где t'_1 - размер шпоночной канавки, p - толщина тела фрезы в опасном сечении $p \geq (0,25-0,3)d_{\text{отв}}$, h_k - глубина стружечной канавки.

Диаметральные размеры фрезы можно определить двумя путями: от $d_{\text{отв}}$ к $d_{\text{до}}$ и от $d_{\text{отв}}$ к $d_{\text{до}}$. Диаметр отверстия должен обеспечить необходимую жесткость оправки для крепления фрезы, ориентировочно, $d_{\text{отв}} = (0,20-0,45)d_{\text{до}}$ или, исходя из размера нарезаемых зубьев, $d_{\text{отв}} = 20m^{0,373}$, у фрез нормальной и повышенной точности $d_{\text{отв}} = 27m^{0,404}$. Диаметры отверстий у червячных фрез назначают из нормального ряда диаметров отверстий насадного инструмента. Диаметр окружности, проходящей по дну стружечных канавок, $d_1 = 1,75d_{\text{отв}}$.

Длина рабочей части фрезы выбирается с учетом обеспечения полной обработки заданного профиля детали. Поэтому минимально необходимая длина червячной фрезы должна быть равна проекции рабочего участка линии зацепления на ось фрезы.

У червячных фрез линия зацепления (рис. 7.20) будет прямой АВ для одной стороны профиля зуба и прямой А'В' - для второй. Минимально необходимая длина фрезы $L_{\text{мин}} = l + 2S_n = 2h' \operatorname{ctg} \alpha + 2S_n$, где S_n - необходимая толщина профилирующих крайних зубьев фрезы.

Но так как зубья фрезы вступают в работу раньше начала соприкосновения сопряженных профилей фрезы и колеса, то длину фрезы следует брать больше величины проекции линии зацепления на ось фрезы.

Кроме того, при работе червячная фреза изнашивается неравномерно. Поэтому для увеличения срока ее службы применяют периодические пере-

Движения фрезы на оправке в процессе обработки либо фрезе сообщают дополнительное движение вдоль ее оси. Поэтому при утонении длины фрезы необходимо также предусматривать определенный запас на возможные перемещения фрезы на оправке.

Общая длина фрезы увеличивается по сравнению с длиной рабочей части на длину двух буртиков, равную 6–10 мм. Буртики служат для контроля отсутствия биения фрезы при ее установке на оправку в процессе изготовления и эксплуатации. Диаметр буртиков выбирается в пределах 1,5–1,7 диаметра отверстия.

Между длиной фрезы и ее наружным диаметром наблюдается такая зависимость: $L = (0,84 - 1,26)d_{\text{но}}$.

От числа зубьев фрезы зависят размеры окружного шага ее зубьев, ширины спилок зуба и размеры стружечной канавки. Число зубьев влияет на величину отдачи, волнистости и производительности обработки, желательнее число зубьев увеличивать. Однако при увеличении числа зубьев уменьшается ширина фрезы, снижаются его жесткость и возможное число переточек, а следовательно, снижается 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 прецизионных больше. Обычно число зубьев $Z = 8 - 16$ в зависимости от диаметра и высоты зуба фрезы.

Заднюю поверхность зуба фрезы для образования задних на всех трех режущих кромках делают затылованной обычно в радиальном направлении по архимедовой спирали (рис. 7.21, 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 разделение стружки и свободный выход затыловочного резца после обработки задней поверхности.

Направление 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. 7.21, 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 обеспечивает большую равномерность фрезерования, чем при фрезеровании фрезами с винтовыми канавками, упрощается технология заточки и переточки.

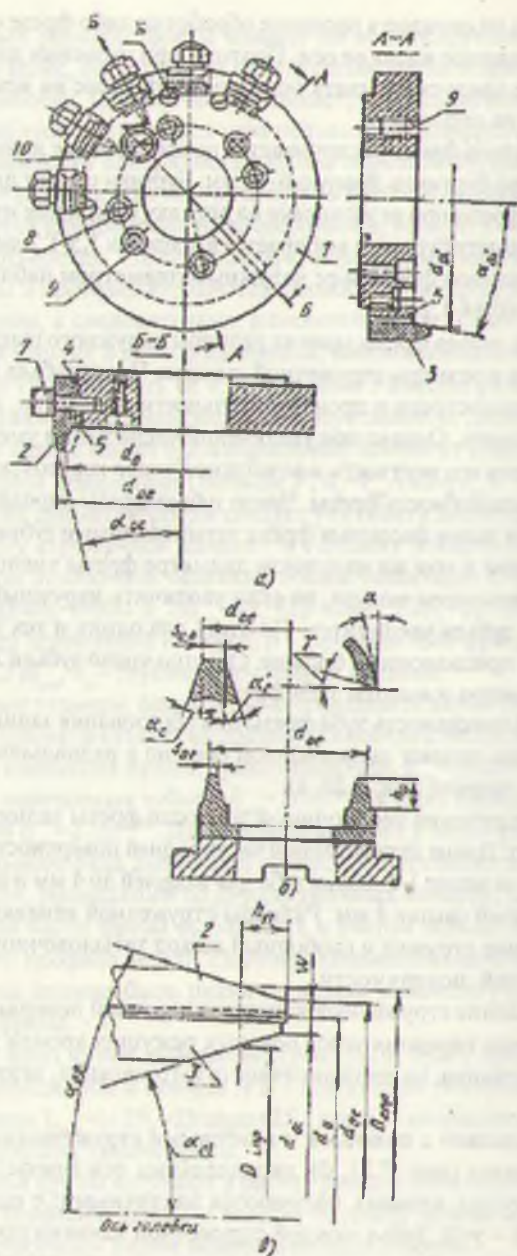


Рис. 7.20. Схема определения длины червячной фрезы

Прямые канавки делают у фрез с $\gamma_{\text{по}} < 3-5^\circ$. У фрез с винтовыми стружечными впадинками (Рисунок 7.21, в), нормальными направлению витков фрезы, угол $\lambda_{\text{по}}$ наклона канавки равен углу $\gamma_{\text{по}}$ подъема витков фрезы. Передние углы на боковых режущих кромках равны нулю, режущие кромки каждой стружечной впадинки одновременно вступают в контакт с заготовкой, что вызывает большую неравномерность фрезерования.

Ход винтовой канавки $p_z = p d_{\text{по}} \text{ctg} \lambda_{\text{по}}$, где $d_{\text{по}}$ — средний расчетный диаметр фрезы.

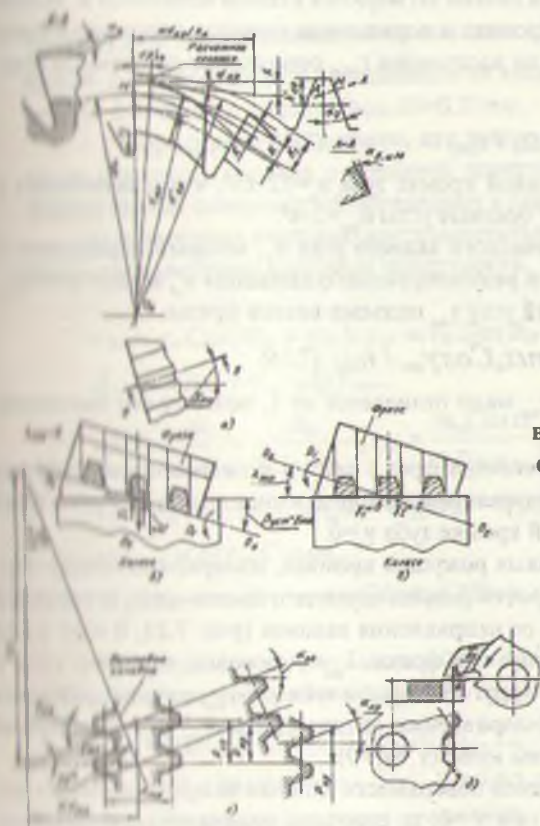


Рис. 7.21. Формы зуба и впадины червячной фрезы (а), стружечные канавки прямые (б), винтовые (в), размеры профиля зуба в проекции на осевую плоскость (г), зуб с $g_s > 0$ (д)

При переточках диаметральные размеры фрезы уменьшаются, что влияет на расчетные и технологические параметры. Для меньшего отличия фактических размеров от расчетных последние определяют не по нескольким диаметральным размерам новой фрезы, а несколько уменьшенным размерам расчетного сечения, отстоящего от передней поверхности на часть σ окружного шага (рис. 7.21, а):

$$d_{\text{мо}} = d_{\text{до}} - 2h_{\text{до}} - 2\sigma k, \quad (7.14)$$

где $\sigma = 0,1-0,15$, k – величина затылования.

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 $\gamma_{\text{мо}}$. 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 М, отстоящей от оси фрезы на расстоянии $r_{\text{ом}}$, определяют по формуле (рис. 7.21, а):

$$\text{tg} \alpha_{\text{блм}} = \tau_{\text{ао}} \text{tg} \alpha_{\text{а}} \text{Sin} \alpha_0 / r_{\text{ом}}. \quad (7.15)$$

Задние углы на вершинной кромке зуба $\alpha_0 = 12-13^\circ$, что обеспечивает у фрез с углом профиля $\alpha_0 = 20^\circ$ боковые углы $\alpha_{\text{ов}} = 2-4^\circ$.

На величину кинематического заднего угла α_k , который определяют с учетом направления скорости результирующего движения v_e , влияет угол β установки оси фрезы, равный углу $\gamma_{\text{мо}}$ подъема витков фрезы:

$$\text{tg} \alpha_{\text{бокМ}} = r_{\text{ао}} \text{tg} \alpha_{\text{а}} \text{Sin} \alpha_0 \text{Cos} \gamma_{\text{мо}} / r_{\text{ом}} \quad (7.16)$$

Обычно $\gamma_{\text{мо}} \leq 3^\circ$ и $\text{Cos} \gamma_{\text{мо}}$ мало отличается от 1, поэтому его значением пренебрегают.

Учитывая, что при переточках фрез с $\gamma \neq 0^\circ$ и затылованными зубьями получаются искажения в образованном профиле, у чистовых червячных фрез передний угол на вершинной кромке зуба $\gamma_0 = 0$.

Передние углы на боковых режущих кромках, измеряемые между перпендикуляром к вектору скорости результирующего движения v_e и передней поверхностью зуба, зависят от направления канавок (рис. 7.21, б и в). Если канавки прямые, параллельные оси фрезы, $\lambda_{\text{мо}} = 0$, боковые передние углы с одной стороны зуба $\gamma_1 = +\gamma_{\text{мо}}$, с другой стороны зуба $\gamma_2 = -\gamma_{\text{мо}}$, если направление канавки перпендикулярно к направлению витков фрезы, $\lambda_{\text{мо}} = \gamma_{\text{мо}}$, то 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. $\gamma_0 \neq 0$, например, при $\gamma_0 > 0$, то режущая кромка не одновременно совмещается с плоскостью профилирования по всей длине, а постепенно: сначала точки, лежащие у прямой выступов, а затем, с некоторым опозданием, точки у прямой впадин зуба (рис. 7.21, д). При этом заготовка, совершающая

движение обката, повернется на некоторый угол, и профиль впадины, образующий на заготовке, получается несимметричным: с одной стороны – с отвалом, с другой стороны – с поднутрением (подрезом). Ввиду этого, при проектировании чистовых фрез с $\gamma \neq 0^\circ$ 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:

$$\begin{aligned} P_{ni} &= P_{n1} = \pi m_{n1}; S_{no} = e_1 = P_{n1} - S_{n1}; \\ \alpha_{ni} &= \alpha_1; h_{ni} = h_{f1}; h_{f0} = h_{a1} - c_{10} \end{aligned} \quad (7.17)$$

У стандартных фрез для обеспечения бокового зазора колес в зацеплении толщину зуба делают больше половины шага: $S_{no} = 0,5\pi m_{n1} + \Delta S$, где утолщение ΔS установлено в зависимости от модуля: при $m=2\text{мм}$ $\Delta S=0,11$, при $m=3\text{мм}$ $\Delta S=0,17\text{мм}$, при $m=10\text{мм}$ $\Delta S=0,21\text{мм}$.

Формы режущих кромок, как линии пересечения винтовой поверхности основного червяка с передней поверхностью канавки, и требуемые формы этих поверхностей определяют в следующей последовательности:

а) определяют винтовую инструментальную поверхность основного червяка – involventную винтовую поверхность,

$$x_M = r_M \cos(\theta_M + \varphi_M); y_M = r_M \sin(\theta_M + \varphi_M);$$

$$z_M = P\varphi_M + r_{bo} v_M \operatorname{tg} \gamma_{mbo},$$

$$\text{где } P = \frac{m_x}{2} = \frac{m_n}{2 \cos \gamma_{mo}}; r_{bo} = \frac{m_n \cos \alpha}{2 \sin \gamma_{mo}};$$

$$v_M = \operatorname{tg} \alpha_M, \theta_M = \operatorname{inv} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_M - \alpha_M,$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{mbo} = \operatorname{tg} \gamma_{mo} \cos \alpha_0,$$

$$\cos \alpha_M = r_{bo} / r_M = m_n \cos \alpha / (2 \sin \gamma_{mo});$$

б) определяют форму передней поверхности зубьев фрезы, при $\gamma_s = 0$ – винтовая винтовая поверхность, ее уравнение:

$$x_M = r_M \cos \varphi_M; y = r_M \sin \varphi_M; z_M = P\varphi_M$$

$$\text{где } P = P_z / (2\pi) \text{ или при } \lambda_{mo} = \gamma_{mo} \quad P_z = 0,5 d_0 \operatorname{ctg} \gamma_{mo};$$

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 будет содержать режущую кромку.

При эвольвентном основном червяке при условии неизменной формы образующей линии эту задачу нельзя решить точно, поэтому применяют приближение метода профилирования.

Зубофрезерование является одним из основных методов нарезания зубьев цилиндрических колес. Поэтому стремятся различными путями полностью раскрыть возможности этого метода и повысить его эффективность. Основными путями различной модификации червячных фрез являются: создание фрез с измененными схемами и с перераспределением загрузки режущих зубьев; применение червячных фрез с незатылованными зубьями; разработка конструкций фрез с рациональной геометрией; оснащение червячных фрез твердыми сплавами, композитом и сверхтвердыми материалами.

Схемы резания существенно влияют на загрузку режущих зубьев, на изнашивание и стойкость инструмента, а следовательно, на интенсификацию процесса зубофрезерования. У червячных фрез стандартной конструкции активно используется около 15-20% длины режущих кромок от общего их периметра.

При этом, наиболее загруженными являются вершинные режущие кромки, срезающие до 80% металла, которые, в свою очередь, загружены неравномерно.

Наибольший объем металла срезают входящие зубья, которые первыми вступают в резание. Эти зубья быстро изнашиваются и определяют период стойкости инструмента. Этот недостаток стандартной конструкции червячной фрезы стремятся исключить или частично исправить разными способами: применением конических червячных фрез, червячных фрез с заборным конусом, а также червячных фрез с дифференцированной схемой резания. Более эффективно червячные фрезы с заборным конусом применять при диагональном методе зубофрезерования цилиндрических колес. В этом случае сначала врезание инструмента в заготовку производится в осевом направлении фрезы, а затем зубофрезерование осуществляется способом диагональной подачи – фреза имеет осевое перемещение и вместе с суппортом получает движение подачи вдоль оси нарезаемого колеса.

В процессе тангенциального врезания и при диагональном перемещении фрезы значительно увеличивается число огибающих резов и снижается шероховатость эвольвентной поверхности. За время врезания заборного конуса происходит как бы черновая обработка зубьев. Чистовая обработка совершается цилиндрической частью фрезы при диагональном перемещении на всю ее длину.

Вследствие такого распределения работы резания зубья фрезы имеют более равномерное изнашивание по всей длине фрезы. При диагональном зубофрезеровании соотношение между составляющими подачи определяет

ся видом обработки, продольной волнистостью и профильной огранкой. Этот метод более эффективен, чем нарезание колес методом продольной подачи. Однако для нарезания зубьев колес диагональным методом требуются зубофрезерные станки с протяжным суппортом повышенной жесткости.

Зубья червячной фрезы стандартной конструкции срезают слой по сложному замкнутому контуру $abcd$ (рис. 7.22). В результате происходит сложная деформация срезаемого слоя и образующейся стружки.

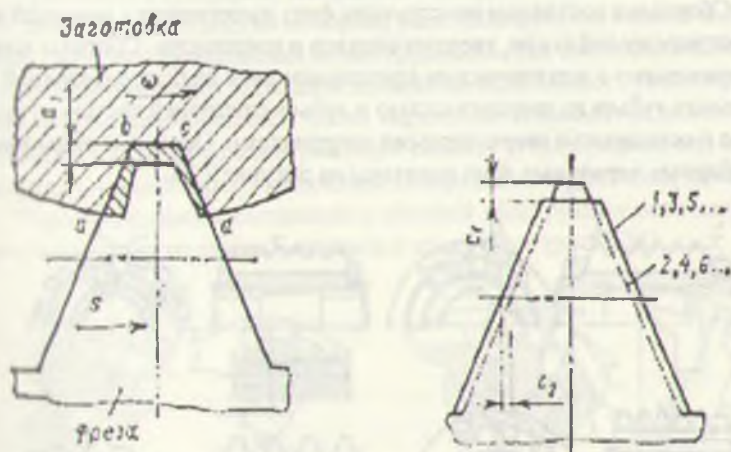


Рис. 7.22. Схема резания червячной фрезой (а) и оптимальная схема резания при зубофрезеровании (б)

Степень деформации и усадка стружки значительно повышаются, что неблагоприятно влияет на силу резания и изнашивание инструмента. На рисунке 7.22, б показаны контуры режущих кромок червячной фрезы, у которой нечетные зубья занижены по вершине на C_1 , а четные зубья заужены по бокам на C_2 . В результате срезаются более толстые, но короткие прямые стружки. Режущие свойства таких фрез улучшаются. Затылование зубьев этих фрез производится так же, как и у обычных, но только от двойного кулачка.

Червячные фрезы с затылованными зубьями хотя и получили широкое распространение, однако они имеют существенные недостатки. Операция затылования — сложная, трудоемкая, создает удары на режущие кромки зубьев. Качество поверхностного слоя при этом методе шлифования снижается. Затыловочный круг быстро изнашивается, так как его размеры ограничены. Диаметр этого круга ограничивает длину зуба, что связано с уменьшением допустимого числа переточек фрезы. По ряду причин невозможно создать оптимальные задние углы на зубьях. Эти недостатки значительно исключаются, если зубья не затыловать, а шлифовать по винтовой цилиндрической поверх-

ности в рабочем корпусе с поворотом реек или в другом, так называемом, технологическом корпусе без поворота реек. Тогда при правильной установке зубьев или реек в инструментальном корпусе они получают необходимые задние углы по всему контуру. Поскольку в этом случае операция затылования совсем отсутствует, такие инструменты называют незатылованными.

Незатылованные червячные фрезы могут быть только сборной конструкции.

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 показаны на рисунке 7.23.

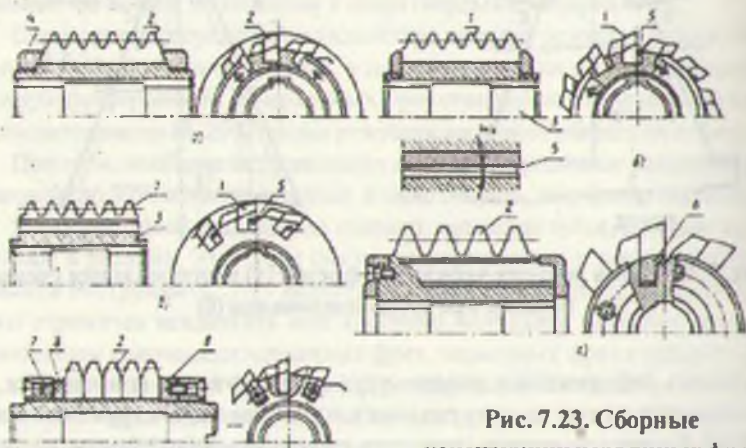


Рис. 7.23. Сборные конструкции червячных фрез

Сборные конструкции червячных фрез 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 прямоугольных, точно выполненных пазах, торцевыми гайками 4 с конической зажимной поверхностью (рис. 7.23, а), продольными клиньями 5 (рис. 7.23, б, в), с помощью клиновой формы посадочной части реек 6 (рис. 7.23, г) для крупномодульных фрез, торцевыми винтами 7 для крепления отдельных зубьев в пазах корпуса (рис. 7.23, 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. 7.24), задние поверхности зубьев которых обрабатывают круглым шлифованием по цилиндрической поверхности радиусом $R_{\text{ш}}$ без затыловочных движений. Это осуществляют или в специальном приспособлении при смещенном положении реек относительно их рабочего положения (рис. 7.24, а, б) или в рабочем корпусе фрезы в положении, повернутом относительно рабочего (рис. 7.24, в, г).

Крепление в требуемом положении осуществляется кольцами радиусом R_c по дуговым поверхностям на торцах реек. Шлифование задних поверхностей без движений затылования менее трудоемко, так как отпадает необходимость создания второго затылка и появляется возможность увеличить число зубьев фрезы, увеличивается число переточек, повышается работоспособность фрезы. Восстановление режущих свойств зубьев (переточек) производится, как и у целых фрез, по передней поверхности стружечных канавок.

Червячные фрезы составной и сборной конструкции оснащают режущими элементами из твердых сплавов и композитов (рис. 7.25).

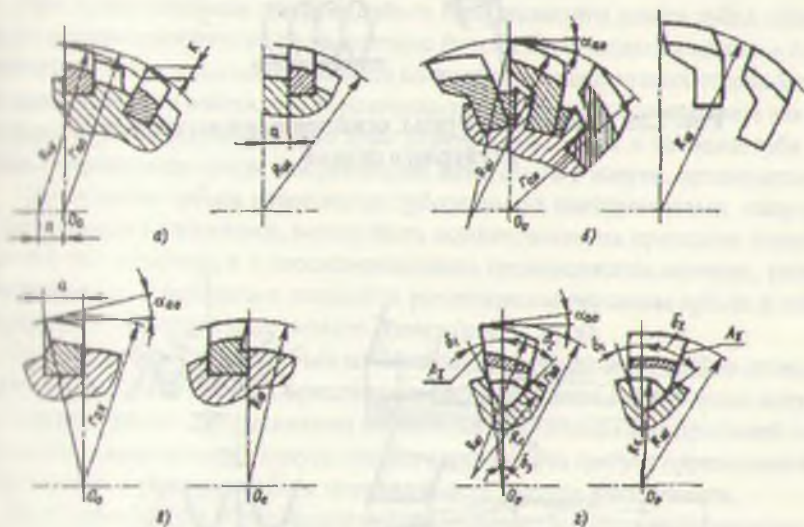


Рис. 7.24. Зубья червячных фрез, полученные без затылования

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° можно обрабатывать заготовки колес твердостью 60–62 HRC.

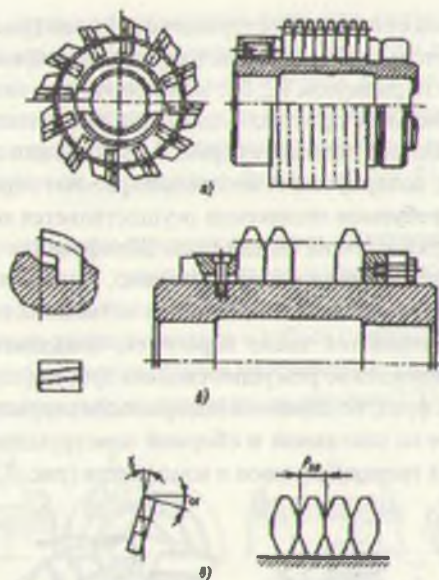


Рис. 7.25. Червячные фрезы, оснащенные пластинами из твердого сплава

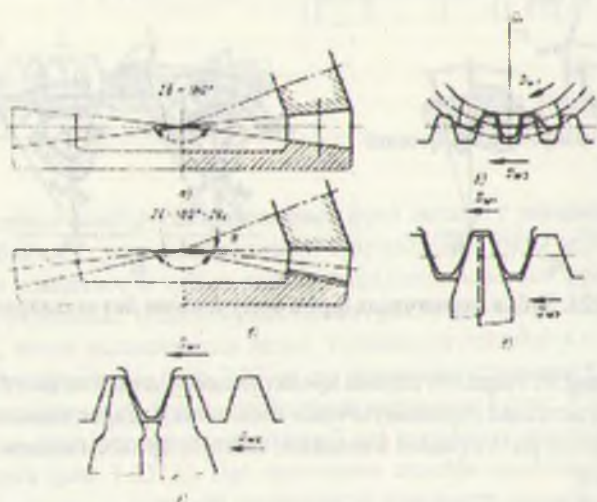


Рис. 7.26. Образование зубьев конического колеса

7.6. Инструменты для нарезания конических колес

Конические колеса широко применяют в передачах различных машин и механизмов. Они бывают прямозубые и с криволинейными зубьями. Для их обработки применяют различные инструменты: зубострогальные резцы, дисковые зуборезные головки, конические червячные фрезы.

При образовании зубьев конического зубчатого колеса и определении их размеров используют принцип зацепления образуемого колеса с плоским производящим колесом (рис. 7.26, а), угол делительного конуса этого колеса $\sigma=90^\circ$, делительный конус лежит в плоскости. Этот принцип аналогичен образованию и определению размеров зубьев цилиндрических зубчатых при зацеплении с исходным контуром. Форма и размеры зубьев образуемого колеса определяются при пересечении его делительного конуса (центроиды) по начальному конусу производящего колеса (его центроиде) — движение D_w (рис. 7.26, 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 производящего 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. 7.26, в).

При этом образовании зубьев колес пары происходят не от одного производящего колеса, а от разных, с различным расположением делительных конусов, и следовательно, при различном положении и производящих профилей по отношению к делительному конусу плоского колеса. Это требует определенной корректировки в размерах зубьев производящего контура инструмента.

Инструменты при образовании зубьев копируют впадину исходного производящего колеса, например зубострогальные резцы (рис. 7.26, г), или его зуб — зуборезные головки (рис. 7.26, д).

Обработка обеих сторон зубьев конического колеса, учитывая изменяющиеся размеры по их длине, должна производиться инструментами с различными обратными движениями; для каждой стороны зуба колеса главное движение, обеспечивающее движение резания, может быть вращательное (применяют резцовые головки, фрезы) или продольно-поступательное (зубострогальные резцы), совпадающие с направлением образуемых зубьев колеса.

Для образования зубьев криволинейной продольной формы наиболь-

шее применение имеют зуборезные головки, продольная форма зубьев образуется по дуге окружности.

Зуборезная головка имеет форму диска с резцами, расположенными по ее периферии (рис. 7.27).

Режущие кромки резцов в процессе обкатного движения головки копируют зуб производящего колеса и образуют впадину нарезаемого колеса.

Главное движение D_r резцов головки 1 (рис. 7.28, а и б), вращательное вокруг ее оси O_0 , не связано с обкатными движениями D_{w1} заготовки 2 и D_{w1} инструмента 1 (головки).

Головка устанавливается на люльке 3 станка с эксцентриситетом относительно оси вращения люльки. В процессе обработки заготовка 2 и люлька 3 совершают согласованные вращательные движения, оси вращения заготовки O_1 и люльки O_2 пересекаются. Взаимное вращение заготовки 2 и люльки 3 создает обкатные движения D_w производящей поверхности режущих кромок резцов головки (производящего колеса 4) и заготовки 2. В процессе их согласованного движения образующая поверхность режущих кромок резцов 5 головки перемещается аналогично зубу производящего колеса и занимает относительно заготовки положения, в результате которых образуется методом огибания профиль зуба нарезаемого колеса (рис. 7.28, в).

После образования одной впадины головка возвращается в первоначальное положение относительно заготовки, происходит поворот люльки без поворота заготовки, возобновляется процесс обкатного движения заготовки и колеса и образование следующей впадины заготовки.

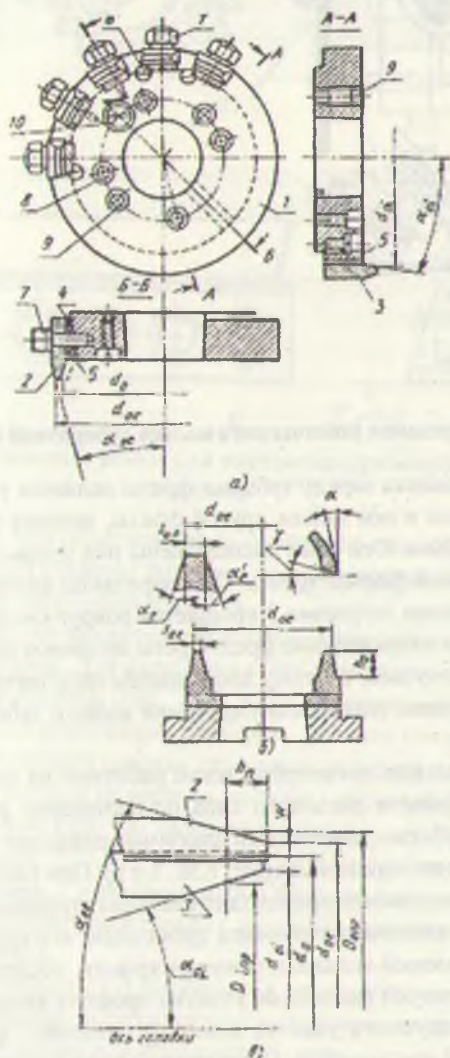
Для нарезания прямозубых конических колес применяют зубострогальные резцы, дисковые фрезы, фрезы-протяжки.

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 (Рисунок 7.29, а) в процессе рабочего движения резания перемещаются вдоль образующей зуба — главное движение $D_{гн}$, и обрабатывают зуб 3, копируя впадину производящего колеса (рис. 7.26, г). Дисковые фрезы в процессе нарезания колеса копируют зуб производящего колеса, образуют впадину нарезаемого колеса (рис. 7.26, д).

Зубострогальные резцы и фрезы применяют в паре для обработки правой и левой стороны зуба или впадины.

Конструкция зубострогального резца показана на рисунке 7.29, б. Его базовая часть имеет клиновидную форму с углом 73° в соответствии с базовыми поверхностями станка. Режущая кромка прямолинейная. Высота h_n режущей кромки и её ширина $S_{до}$ на вершине резца определяются так же, как и у резцов зуборезных головок. Резцы имеют в плоскости, нормальной к режущей кромке, инструментальный передний угол $\gamma_n = 10-20^\circ$, у стандартных резцов $\gamma_n = 20^\circ$, инструментальный задний угол $\alpha_n = 0$. Статический задний угол на профилирующей режущей кромке $\alpha_c = 4''10$ образуется при установке базо-

Дисковые фрезы по конструкции аналогичны одноугловым фрезам. Профилирующая кромка (рис. 7.30, 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.



207

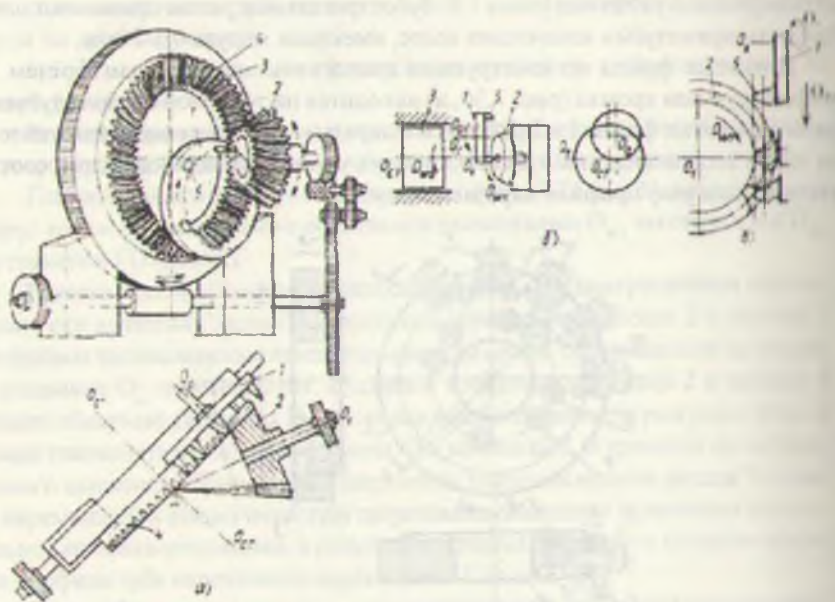


Рис. 7.28. Нарезание конического колеса зуборезной головкой

Ступенчатая 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 зубьев. 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 – дисковые (рис. 7.30, б и в). При главном вращательном движении D_1 инструмента происходит срезание стружки. Одновременно с вращательным движением инструмента происходит его перемещение в направлении обрабатываемой впадины, режущие кромки, последовательно вступающие в работу, образуют различные участки профиля впадины. В соответствии с формой образуемого участка впадины изменяют форму режущих кромок зубьев секций инструмента. Обработка каждой впадины производится в два хода – при прямом продольном ходе производится предварительное

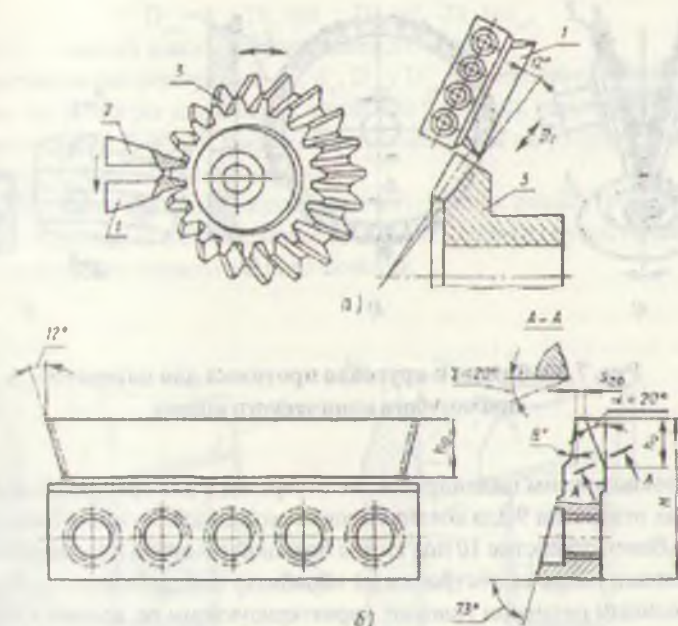


Рис. 7.29. Зубострогальные резцы для нарезания прямозубого конического колеса

удаление материала, при обратном ходе — окончательная обработка впадины. После обработки одной впадины заготовка поворачивается на один шаг и производится обработка следующей впадины.

Зуборезные головки изготовляют различных конструкций в зависимости от назначения и размеров. Для нарезания колес средних и больших размеров применяют сборные головки (рис. 7.27, а) со смешанными режущими элементами (резцами), для колес малых размеров — цельные головки (рис. 7.27, б).

Сборная двухсторонняя головка для чистового нарезания круговых зубьев конических колес состоит из корпуса головки 1 дисковой формы в прямоугольных пазах (боковые стороны пазов параллельны оси головки), которых установлены резцы (рис. 7.27, а). Применяют двухсторонние 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

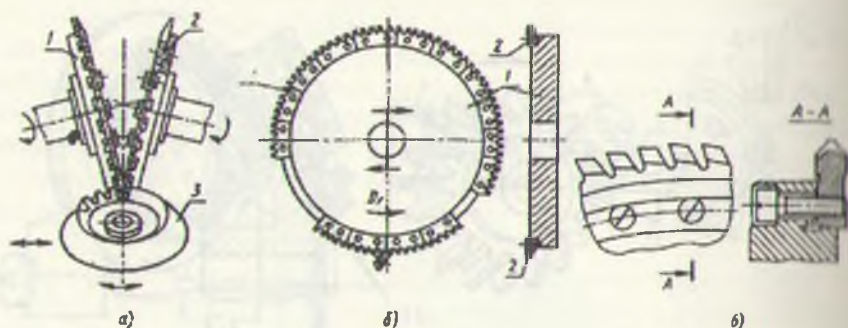


Рис. 7.30. Фрезы и круговая протяжка для нарезания прямозубого конического колеса

головки расположены цилиндрические отверстия 8 для крепления винтов, два резьбовых отверстия 9 для снятия головки со шпинделя станка (отжимные) и одно резьбовое отверстие 10 под винт с большой головкой для указания напильника 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 равно понижаяющимися зубьями:

$$d_0 = L / \sin \beta,$$

где L — длина образующей начального конуса до средней точки зуба, β — угол наклона зуба нарезаемого колеса в его средней точке.

Настроечными рабочими размерами головок являются диаметры: образующие наружные $d_{\text{н}}$ и внутренние $d_{\text{в}}$, развод резцов W , размеры профиля режущей кромки K : высота профиля h_0 и углы профиля наружных $\alpha_{\text{н}}$ и внутренних $\alpha_{\text{в}}$ резцов, ширина вершины резца $S_{\text{в}}$, диаметры: производящие наружный $D_{\text{н}}$ и внутренний $D_{\text{в}}$ и др.

Развод резцов W (рис. 7.27, в) — расстояние между вершинами наружных и внутренних резцов, определяет ширину дна впадины у нарезаемого колеса. Диаметры образующие наружные $d_{\text{н}}$ и внутренние $d_{\text{в}}$ — диаметры окружностей, проходящие через вершины, соответственно, наружных и внутренних резцов, при симметричном расположении резцов:

$$d_{\text{н}} = d_0 + W; \quad d_{\text{в}} = d_0 - W.$$

Производящие диаметры, наружный $D_{\text{н}}$ и внутренний $D_{\text{в}}$, 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:

$$D_{\text{внр}} = d_{\text{ос}} + 2h_{\text{п}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{ос}}; D_{\text{внр}} = d_{\text{ос}} - 2h_{\text{п}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{ос}},$$

где $h_{\text{п}}$ — высота ножки зуба нарезаемого колеса.

Регулирование (настройка) $d_{\text{ос}}$, $d_{\text{вн}}$, $D_{\text{внр}}$, $D_{\text{вн}}$ производится сменными подкладками 4 (грубая регулировка) и клиньями 5 (точная регулировка) с помощью винтов 6 (рис. 7.27, а). Закрепление резцов после регулировки и установление размеров осуществляется винтами 7.

Конструкция чистовых наружных и внутренних резцов показана на рисунке 7.31. Крепление и базирование их в пазах головки осуществляется с помощью хвостовика прямоугольного сечения.

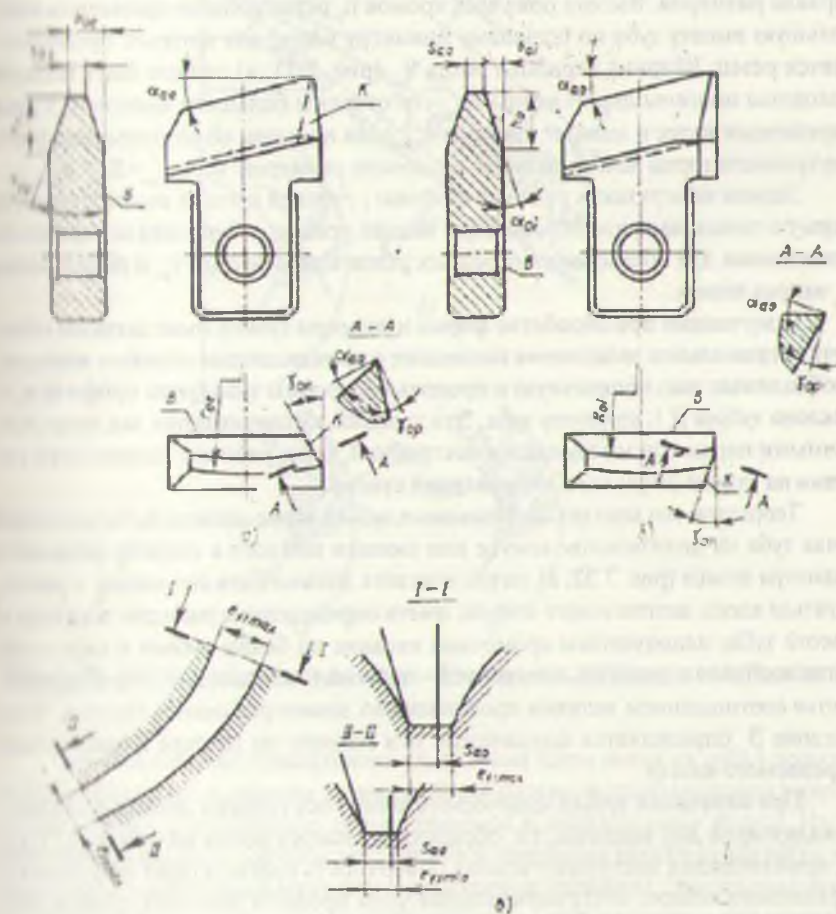


Рис. 7.31. Чистовые резцы зуборезной головки

Плоскость хвостовика резца, обращенную к оси головки, называют базовой. Рабочая (режущая) часть резца имеет трапецеидальную 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 $\alpha_{\text{вн}}$ у наружных резцов и $\alpha_{\text{ов}}$ — у внутренних резцов.

Расстояние от базовой плоскости резца до пересечения режущих кромок, боковой и расположенной на его вершине, называют базовым расстоянием наружного $b_{\text{ов}}$ и внутреннего $b_{\text{ов}}$ резца.

Резцы предназначены для образования зубьев колес определенного интервала размеров. Высота режущих кромок h_0 резца должна превышать наибольшую высоту зуба по большому диаметру колес, для которых предназначается резец. Ширина вершины резца $S_{\text{в0}}$ (рис. 7.31, в) должна быть больше половины ширины дна впадины $e_{\text{пmax}}$ со стороны большего внешнего торца нарезаемых колес и меньше ширины $e_{\text{пmin}}$ дна впадины со стороны меньшего внутреннего торца колеса данного интервала размеров: $0,5e_{\text{пmax}} < S_{\text{в0}} < e_{\text{пmin}}$.

Задняя поверхность резца со стороны режущей кромки имеет круговую форму и затылована для образования задних углов $\alpha_{\text{з0}}$. Передняя поверхность — наклонная для образования передних углов в поперечном $\gamma_{\text{ос}}$ и радиальном $\gamma_{\text{сп}}$ 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 и наклона зубьев β), кривизну зуба. Эти условия обеспечиваются как конструктивными параметрами головки и настройкой, так и рабочим положением головки на станке (люльки) 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. 7.32, 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 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. 7.32, б); производящая инструментальная поверхность соответствует зубу плосковершинного колеса; инструментальные углы профиля режущих кромок резцов определяют также относительные оси головки — перпендикуляра к конусу ножек нарезаемого зубчатого колеса.

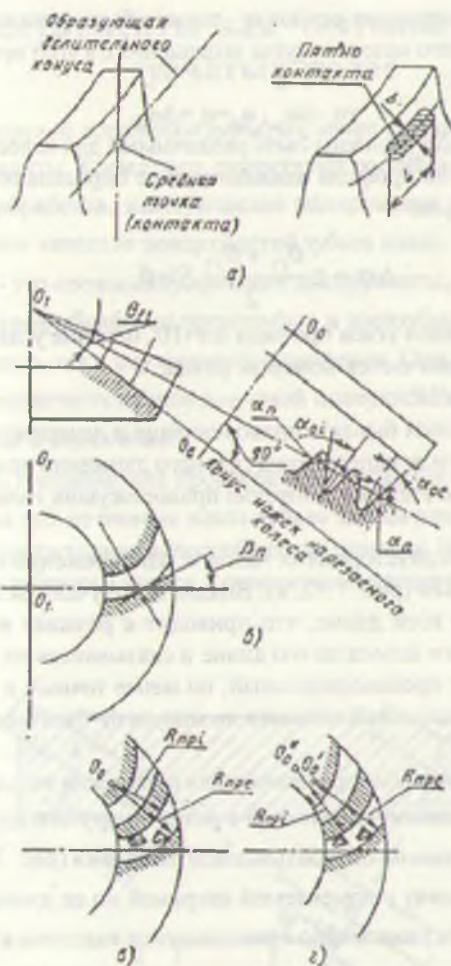


Рис. 7.32. Определение правильного образования зубьев колес зуборезной головкой

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_{11} (угла установки оси головки) и угла β_{11} наклона зубьев нарезаемого колеса по делительному конусу в средней точке зуба (рис. 7.32. б).

Угол профиля наружных резцов α_{oe} должен быть меньше угла профиля плоского производящего колеса α_n (угла зацепления), а 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:

$$\Delta\alpha = N10', \quad N = \pm\Delta\alpha/10'.$$

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.

При применении двусторонних головок одновременно образуются обе стороны впадины зубьев (рис. 7.32, 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 изготавливается головкой с резцами другого вида при изменении установки относительно обрабатываемой заготовки (рис. 7.32, г). Это позволяет получать впадину с изменяемой шириной по ее длине, в результате зубья получают более равномерно изменяющейся толщины и большей прочности. Способ нарезания колес односторонними головками менее производительен, 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.

7.7. Инструменты для чистовой обработки зубчатых колес

Для отделочной обработки зубчатых колес применяют шеверы и абразивные инструменты. Кроме того, существуют процессы, как приработка, гидроабразивная обработка, электрическое полирование, которые, главным образом, повышают качество поверхностей зубьев колес.

Шеверы – это сложные зуборезные инструменты, применяемые для чистовой, отделочной обработки прямозубых и косозубых цилиндрических колес как наружного, так и внутреннего зацепления. Они повышают точность и снижают шероховатость обрабатываемой поверхности. Шеверы бывают ременные, дисковые и червячные.

Сущность и кинематика процесса шевингования состоит в использовании скольжения зубьев шевера вдоль зубьев колеса для срезания с обрабатываемой поверхности тонких волосообразных стружек. На рисунке 7.33, а показано движение зубчатого колеса 1 относительно косозубой рейки 2.

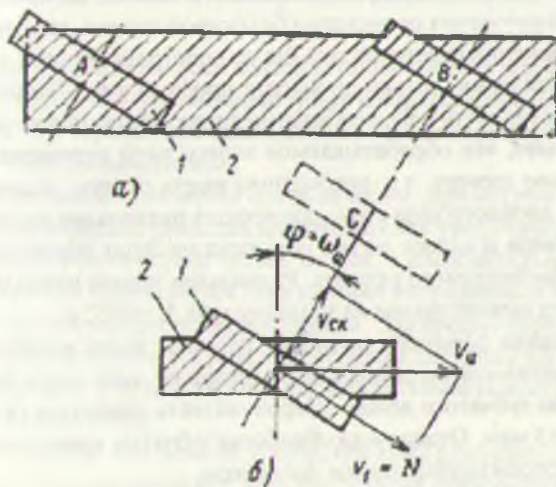


Рис. 7.33. Схема шевингования шевером – рейкой (а), дисковым шевером (б)

Перемещение колеса из положения А в конечное положение В складывается из двух движений: качения начальной окружности колеса по начальной прямой рейки из положения А в положение С и его перемещения из положения С в положение В, которое вызывает скольжение зубьев колеса относительно зубьев рейки, в результате чего образуется движение резания.

На рисунке 7.33, б показана схема шевингования зубчатого колеса дисковым шевером. В принципе здесь относительные движения те же, что и в предыдущем случае. Так как оси шевера и колеса скрещиваются, то в этом случае также возникает скольжение зубьев колеса относительно зубьев шевера. Для прямозубого колеса угол скрещивания осей ϕ равен углу наклона зубьев шевера ω_n .

В процессе работы шевер и зубчатое колесо находятся в беззазорном зацеплении. Шевер вращается от отдельного привода со скоростью $v_n = 120 - 140$ м/мин, а обрабатываемое колесо увлекается шевером. Его устанавливают на оправке, которая свободно вращается в центрах бабок стола. Стол имеет возвратно-поступательное продольное перемещение для осевой подачи колеса относительно шевера. Осевое перемещение колеса вызывается необходимостью обработки профиля по всей длине зуба.

Процесс шевингования происходит зацеплением двух винтовых колес с перекрещивающимися осями. Контакт между зубьями шевера и колеса теоретически является точечным, а практически имеется зона, пятно контакта. Если бы процесс шевингования происходил без осевой подачи, то точка контакта в обкаточном движении перемещалась бы по пространственной линии профилирования (зацепления) только по высоте профиля зуба. Чтобы обработать всю боковую поверхность зуба, необходимо линию контакта переместить вдоль зуба. Это означает, что обрабатываемое колесо надо перемещать вдоль его оси относительно шевера, т.е. необходимо иметь осевую подачу заготовки. После каждого двойного хода стола происходит радиальная подача, т.е. сближение осей шевера и колеса до тех пор, пока не будет обработана толщина зуба колеса до необходимого размера. Радиальная подача равна 0,01-0,02 мм/ход, припуск под шевингование на толщину зуба $\Delta_1 = 0,035$ мм.

Шевингование повышает точность зубчатых колес в среднем на одну степень. Исправляются погрешность по профилю зуба, шагу, направлению зубьев и биению зубчатого венца. Шероховатость поверхности снижается с $R_z = 20$ до $R_z = 0,63$ мкм. Отделочная обработка зубчатых колес шевингованием является высокопроизводительным процессом.

Дисковые шеверы имеют большую долговечность. Их стойкость между переточками составляет 10 - 15 тысяч обработанных колес. Шевер допускает 4-5 таких переточек. Таким образом, его долговечность, т.е. общий срок службы равен времени обработки 40-75 тысяч деталей.

На рисунке 7.34 показаны кинематические параметры процесса шевингования. Схема соответствует общему случаю, когда шевёр и колесо имеют винтовые зубья с углами наклона ω_n и ω_1 .

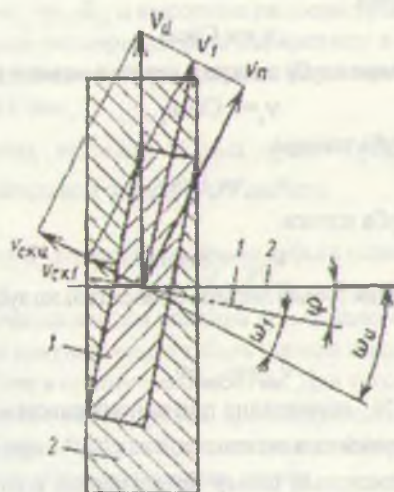


Рис. 7.34. Кинематика процесса шевингования

Ось шевёра относительно оси колеса устанавливается под углом скрещивания $\varphi = \omega_n \pm \omega_1$, где ω_n , ω_1 — угол наклона зубьев соответственно шевёра и колеса к их осям. Знак “+” берется при одноименном направлении зубьев шевёра и колеса, знак “-” при разноименных.

Угол скрещивания φ является очень важным параметром. Чем больше угол φ , тем лучше режущие свойства шевёра, так как увеличивается скорость скольжения зубьев относительно зубьев колеса, а следовательно, и скорость резания. Вместе с тем уменьшается зона касания сопряженных поверхностей и ослабляется направляющее действие шевёра. Это вредно отражается на работе инструмента, увеличивается сила перемещения заготовки вдоль оси, могут возникнуть вибрации. В результате понижаются стойкость инструмента, точность и качество обработки.

С другой стороны, чем меньше угол φ , тем хуже режущие свойства инструмента, и при $\varphi = 0$ скольжения нет, процесс резания прекращается. В результате обкаточного движения под нагрузкой происходит вдавливание зубьев шевёра в зубья колеса, что создает наклеп. Кроме того, чем меньше угол φ , тем больше требуется времени на обработку зубьев колеса.

Исследования этого процесса показали, что для зубчатых колес одинар-

ных, без буртиков, оптимальные значения угла скрещивания находятся в пределах $10 - 20^\circ$.

Окружная скорость шевера v_n задается в пределах 120-140 м/мин. Тогда окружная скорость колеса

$$v_1 = v_n \cos \varphi.$$

Скорость, нормальная к зубу шевера и колеса в момент контакта,

$$v_n = v_n \cos \omega_n.$$

Скорость вдоль зуба шевера

$$v_{CKH} = v_n \sin \omega_n.$$

Скорость вдоль зуба колеса

$$v_{CKI} = v_1 \sin \omega_1.$$

Скорость скольжения зубьев шевера относительно зубьев колеса, т.е. скорость резания

$$v_{рез} = v_{CKH} \pm v_{CKI}.$$

Здесь также знак "+" справедлив при одноименном направлении винтового хода зубьев инструмента и заготовки, знак "-" - при разноименном.

По конструкции дисковый шевер представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо с винтовыми зубьями, на боковых поверхностях которых имеются канавки для образования режущих кромок (рис. 7.35)

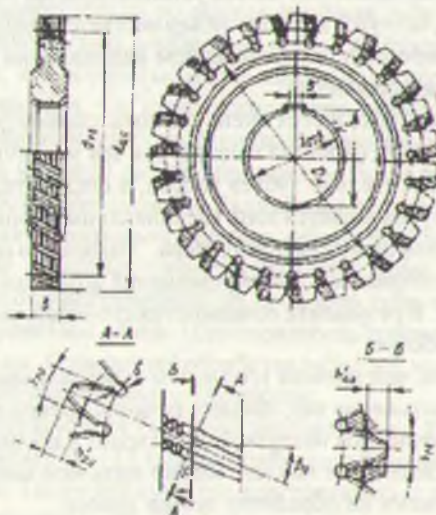


Рис. 7.35. Дисковый шевер

В процессе окончательного образования зубьев колеса его зубья и зубья шевера должны зацепляться с одной и той же косозубой инструментальной рейкой. Поэтому у шевера и колеса в сечении, нормальном к направлению их зубьев, должны быть равны их шаги ($p_{n0}=p_{n1}$), углы профиля ($\alpha_{n0}=\alpha_{n1}$), толщины зубьев шевера $S_{n0}=e_{n1}=p_{n1}-S_{n1}$ и высотные размеры зуба $h_{a0}=h_{a1}-c_{10}$ и $h_{f0}=h_{f1}+c_{10}$.

Диаметральные размеры шевера определяют в торцевом сечении, поэтому вышеприведенные размеры должны быть пересчитаны в торцевое сечение делением на $\cos\omega_n$:

$$P_{10} = P_{n0} / \cos\omega_n; m_{10} = m_{n0} / \cos\omega_n; tg\alpha_{10} = tg\alpha_{n0} / \cos\omega_n.$$

Диаметр делительной окружности шевера

$$d_{10} = m_{10} z_0$$

По принятому d_{10} определяют число зубьев шевера

$$Z_0 = d_{10} / m_{10}.$$

При шевинговании каждая впадина зубьев колеса обрабатывается одним зубом шевера. При кратном числе зубьев 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.

По принятому числу зубьев определяют расчетный диаметр делительной окружности шевера:

$$d_0 = z_0 m_0.$$

Дисковые шеверы делают насадной конструкции. Диаметр отверстия начинают 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 с $d_0=85$ мм.

Теоретически необходимая ширина шевера – длина его зубьев, определяется размером пятна контакта зубьев шевера и колеса и проекцией длины истинного участка пространственной линии зацепления шевер-колесо. Положение участка контакта зубьев симметрично относительно линии кратчайшего межосевого расстояния, в процессе обработки он перемещается по длине зубьев шевера. Необходимая по этому условию длина зубьев невелика. Для обеспечения жесткости инструмента шеверы делают шириной больше, чем это теоретически необходимо. У стандартных 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 фрезы, представляют собой эвольвентные поверхности. Боковые поверхнос-

ти обеих сторон зубьев имеют одинаковые углы наклона и ход. Радиус их основного цилиндра:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} \cos \alpha_{\text{н}}.$$

Высота головки зуба шевра должна обеспечить полную обработку активной рабочей части профиля зуба колеса, поэтому ее делают несколько больше высоты головки зуба сопряженного колеса, но головка зуба шевра не должна обрабатывать дно впадины зуба колеса (рис. 7.36, а),

$$\text{т.е. } h_{\text{аоШевра}} > h_{\text{аоШевра}} > h_{\text{аоКолеса}}.$$

Обычно для обработки колес с $h_{\text{аи}} = 1$ коэффициент высоты головки зуба шевра принимают равным 1,1, т.е. на 0,1 больше коэффициента высоты головки зуба сопряженного колеса. Затупившиеся шевры восстанавливают шлифованием задних поверхностей зубьев.

Новые шевры проектируют с учетом припуска на переточку по толщине зуба и соответственно по головке зуба (рис. 7.36, б). По мере переточек смещение уменьшается. Коэффициент смещения $x_{\text{н}}$ нового шевра определяется припуском ΔS на перешлифовку, т.е. увеличением толщины зуба в нормальном сечении на обе стороны.

Наибольшее смещение ограничено толщиной зуба $S_{\text{норм}}_{\text{норм}}$ на окружности вершин. Для обеспечения прочности зуба необходимо, чтобы на его вершине оставалась перемычка p (рис. 7.36, в) между стружечными канавками глубиной $h_{\text{к}}$, поэтому

$$S_{\text{норм}}_{\text{норм}} > 2h_{\text{к}} \cos \alpha_{\text{ан}},$$

здесь $\alpha_{\text{ан}}$ — угол профиля зуба в точке на окружности вершин шевра.

Минимальное смещение ограничивается условием достаточной высоты ножки зуба после всех переточек. Для гарантии и улучшения качества боковой поверхности зубьев колеса минимальный диаметр окружности впадин шевра должен превышать диаметр его основной окружности не менее, чем на 1–2 мм, поэтому $d_{\text{вн}} \geq d_{\text{вн}} + 2$.

По этим условиям определяют значение и расположение припуска на переточку зубьев шевра. Обычно шевры проектируют с расчетом на четыре-пять 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 шевров 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 шевра в нормальном сечении (по дуге цилиндра) равны:

$$S_{\text{нн}}^i = S_{\text{нн}} + \Delta S$$

$$h_{\text{ан}}^i = h_{\text{ан}} + \frac{\Delta S \operatorname{tg} \alpha_{\text{н}}}{2 \cos \omega_{\text{н}}}$$

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. 7.36, г). После каждой переточки и уменьшения толщины зуби шевера должна быть соответственно изменена и высота головки зуба путем шлифования шевера по окружности вершин.

Для образования режущих кромок на зубьях шевера делают стружечные канавки, обычно в радиальном направлении (рис. 7.36, д). Канавки могут быть выполнены трех форм: прямоугольные со сторонами, параллельные торцу (рис. 7.36, е), и со сторонами, нормальными к направлению зуба (рис. 7.36, ж), и трапециoidalной формы, одна сторона которых нормальна к направлению зуба, а вторая – параллельна торцу (рис. 7.36, з). Форма канавок влияет на значение переднего угла.

От шага канавок зависит число режущих кромок, находящихся одновременно в работе. Размеры канавок должны обеспечить помещение срезаемой стружки не только у нового, но и у переточенного шевера. Для шеверов $m=2-8$ мм установлены следующие размеры канавок: $p=1,8-2,4$ мм, $h_k=0,6-1,0$ мм, $S_k=0,5p$.

Для выхода канавочного долбежного инструмента в основании зуба необходимо обеспечить свободное пространство. 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.

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. 7.37, 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 (рис. 7.36, ж), передние углы у профилирующих кромок независимо от направления вращения шевера и направления подачи с обеих сторон зуба (рис. 7.37, б) равны нулю ($\gamma=0$). Если боковые стороны канавок параллельны торцу шевера (рис. 7.36, 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 на переточку. Диаметр окружности выступов нового шевера:

$$d_{ao} = d_{io} + 2h_{ao}m_n + \Delta S \operatorname{ctg} \alpha_{no}.$$

Диаметр окружности впадин для переточенного шевера:

$$d_{io} = d_{io} - 2h_{jo}m_n - \Delta S' \operatorname{ctg} \alpha_{no}.$$

Диаметр отверстия для выхода долбежного резца при образовании стружечных канавок должен быть больше суммы ширины впадин e_{fo} по окружности впадин и удвоенной глубины канавок (рис. 7.36, б);

$$d_a \geq e_{fo} + 2h_k / \operatorname{Cos} \omega_n.$$

Расчет шевера ведут по двум направлениям: определяют его геометрические размеры как зубчатого колеса со смещением исходного контура и пригодность разработанной конструкции шевера для обработки колеса. При этом определяют положения граничной точки участка профиля зуба колеса, правильно образованного шевера и сравнивают ее положение с положением граничной точки рабочего участка профиля зуба колеса при зацеплении с парным колесом.

Для повышения режущих свойств и работоспособности шеверов создаются конструкции с режущими элементами из твердых сплавов, алмазные и из композитов. 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. 7.38, а, б), большого применения пока не получили.

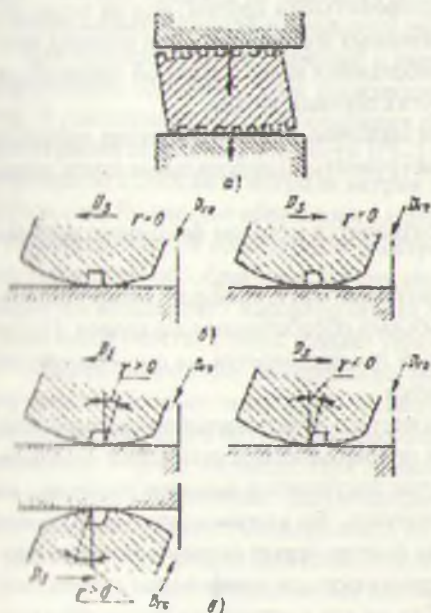


Рис. 7.37. Схема контакта зубьев шевера и колеса (а) и передние углы шевера (б и в)

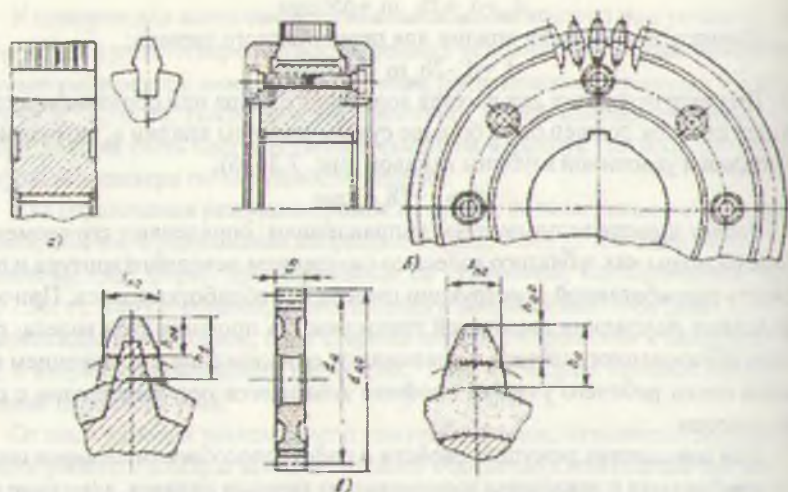


Рис. 7.38. Шеверы твердосплавные и алмазные

Шеверы с режущим слоем из абразивных, алмазных и композиционных материалов делают составной конструкции (рис. 7.38, 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 твердостью, для снятия заусенцев и устранения других пороков зубьев.

Для чистовой обработки твердых и закаленных цилиндрических зубчатых колес широко применяют абразивные инструменты: шлифовальные круги, хоны, притиры, абразивные шеверы.

Шлифование зубчатых колес производится методом фасонного копирования и обкатывания.

В первом случае применяется дисковый круг, профиль которого соответствует профилю впадины между зубьями обрабатываемого колеса. После шлифования каждой впадины заготовка поворачивается на один окружной шаг зубьев, и цикл обработки повторяется.

При шлифовании методом прерывистого обкатывания применяют дисковые и тарельчатые круги, а методом непрерывного обкатывания — червячные абразивные круги. В первом случае достигается высокая точность, но низкая производительность и шероховатость. Во втором случае получается высокая производительность, но червяк быстро теряет форму и размеры профиля. Червячные круги, в основном, применяют для шлифования зубьев мелкомодульных цилиндрических колес. Так же как и червячная фреза, абразив-

ный червяк имеет осевую подачу вдоль зуба колеса. Припуск на шлифование зависит от модуля и диаметра колеса.

Хон или абразивный шевер как инструмент представляет собой абразивное цилиндрическое зубчатое колесо, изготовленное из пластмассы, перемешанной с абразивным шлифпорошком. В настоящее время применяют и алмазные зубчатые хоны, алмазонастный слой которых состоит из металлической связки и равномерно распределенных в ней зерен алмаза. Процесс хонингования ведется при скрещающихся осях под углом $\varphi = 15-18^\circ$ на высоких окружных скоростях. Для обработки зуба по всей длине заготовке сообщается возвратно-поступательное перемещение вдоль оси при непрерывном поджиме инструмента.

Хонингование повышает точность зубчатых колес на одну-две степени и улучшает качество боковых поверхностей зубьев, так как исключает внедрение абразивных зерен в обрабатываемую поверхность. При хонинговании снимается припуск 0,01-0,05 мм.

Зубчатый притир – это чугунное цилиндрическое зубчатое колесо, шароженное мелкозернистым абразивным порошком. В процессе обработки зубья притира вводятся в зацепление с обрабатываемым колесом. Оси притира и колеса могут быть параллельными и скрещающимися. В последнем случае требуется продольная подача заготовки вдоль ее оси для обработки зубьев по всей длине. В процессе притирки снимаются тончайшие слои металла. Поэтому припуск на притирку обычно не предусматривается, и лишь при очень малых допусках на толщину зубьев он может быть равен 0,08 мм.

Для закаленных колес средней и пониженной точности применяют гидроабразивную обработку. Она производится либо струей жидкости, либо в ванне. В последнем случае эта операция проще и поэтому предпочтительнее. Концентрация абразива в жидкости 1/3–1/6. В качестве жидкости применяют 5% эмульсию с добавкой нитрида натрия для придания блеска обработанной поверхности. В качестве абразивного материала используют карбид кремния для предварительной обработки и электрокорунд – для окончательной. Для более равномерной обработки зубьев колеса надеваются на оправки и им сообщается вращение. Гидроабразивная обработка не повышает точность и чистоты поверхности, а лишь создает уплотнение поверхностей, т.е. наклеп.

Электролитическое полирование зубчатых колес производится после шлифования. Процесс происходит в специальных ваннах, куда в электролит погружаются зубчатые колеса, подключаемые к положительному полюсу источника тока в качестве анода. При прохождении тока происходит растворение в электролите наиболее выступающих микронеровностей. В результате снижается шероховатость поверхности на 1-2 класса и частично или полностью удаляется поверхностный слой, поврежденный при шлифовании. Вследствие этого повышается усталостная прочность цементованных и закаленных зубчатых колес.

Приработка зубьев представляет собой процесс обкатывания сопряженных зубчатых колес для улучшения пятна контакта. Приработка может производиться непосредственно в корпусе узла или на специальных станках. В последнем случае имеются дополнительные движения в осевом и радиальном направлениях, что улучшает и интенсифицирует процесс приработки. Для этих же целей применяют мелкозернистые абразивные пасты. Длительность приработки составляет примерно 2 минуты на каждый миллиметр модуля колеса.

Контрольные вопросы

1. Рассмотрите аналогию и различия в кинематике формообразовании поверхностей зубьев колес различными видами зуборезных инструментов.
2. Укажите различия в принципах определения профиля режущих кромок и формы задних поверхностей у дисковых и червячных фрез нарезании зубчатых колес.
3. Как изменяются геометрические параметры по высоте зубьев долбяка и червячной фрезы для нарезания эвольвентного зубчатого колеса?
4. Какие применяют сборные и составные конструкции червячных фрез, их преимущества и недостатки?
5. Как изменяются размеры зуба долбяка, шефера и червячной фрезы при переточках?
6. Какие инструменты образует зуб и какие – впадину конического зубчатого колеса, дайте объяснение и кинематику обработки?
7. Определите инструментальные и статические геометрические параметры зубострогальных резцов для прямозубых конических колес.

Глава 8

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Абразивные инструменты широко применяют в машиностроении для шлифования, притирки, полирования деталей, а также для шлифования, заточки и доводки режущих и других инструментов с целью достижения высокой производительности, точности и низкой шероховатости обработки.

В настоящее время парк станков, применяемых для абразивной обработки, составляет 21% общего числа металлорежущих станков. В подшипниковой промышленности удельный вес таких станков достигает 60%.

8.1 Разновидности и назначение

Абразивным инструментом называется тело определенной геометрической формы, состоящее (или содержащий рабочий слой) из абразивных зерен, скрепленных между собой связкой.

К абразивным материалам, применяемым для изготовления абразивных инструментов, предъявляют следующие требования: он должен быть тверже, чем обрабатываемый материал, обеспечивать процесс резания (скобление, ширпание) и самозатачивания, т.е. частично восстанавливать свои режущие свойства в процессе работы.

Абразивные материалы делят на природные (кварц, наждак, корунд и алмаз) и искусственные (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы и кубические нитрид бора).

Для изготовления абразивных инструментов применяют, в основном, искусственные абразивные материалы.

Электрокорунд нормальный выпускают марок 16А, 15А, 14А, и 13А. Рекомендуются для обдирочного шлифования деталей рунами на керамической и бакелитовой связках.

Электрокорунд белый, хромистый, хромотитанистый применяют для окончательного и скоростного шлифования стальных заготовок в закаленном состоянии кругами на керамической и бакелитовых связках. Электрокорунд белый выпускают следующих марок: 25А, 24А, 23А, 22А; хромистый электрокорунд марок: 34А, 33А; хромотитанистый электрокорунд марок 92А и 91А – на основе нормального электрокорунда.

Электрокорунд циркониевый марки 38А применяют для обдирочного шлифования стальных заготовок кругами на бакелитовой связке.

Монокорунд – электрокорунд в виде отдельных кристаллов или их оскол-

ков; 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, 5С применяют для обработки заготовок из вольфрамовых твердых сплавов чугуна, цветных металлов, инструментами на всех связках.

Шлифовальные порошки из синтетических алмазов выпускают марок АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50.

Синтетические алмазы рекомендуется 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, работающих в тяжелых условиях, при обработке неметаллических материалов. Микropорошки АСМ используют для доводки и полирования заготовок из труднообрабатываемых сталей, сплавов, твердых неметаллических материалов, полупроводников.

Кубический нитрид бора (эльбор, кубонит) применяют для обработки заготовок из стали и чугуна. Его применения особенно эффективно при окончательном и профильном шлифовании термообработанных заготовок из высоколегированных конструкционных жаропрочных и коррозионно-стойких сталей высокой твердости и заточки стальных режущих инструментов.

В зависимости от показателя механической прочности. Эльбор разделяют на марки: ЛО – обычной прочности, ЛП – повышенной прочности, ЛКВ – высокопрочный КНБ.

Кубонит выпускают двух марок: КО – обычной прочности, КР – повышенной прочности. Кроме того, из кубонита выпускают две марки микropорошков: нормальной КМ и повышенной КН абразивной способности.

К абразивным инструментам относятся шлифовальные круги, шлифовальные головки, бруски, сегменты, абразивные ленты. Кроме того, при обработке деталей машин и приборов находят достаточное применение абразивные материалы, зерна которых не закреплено жестко между собой. Это абразивные порошки, пасты, которые могут быть жидкие, мажеобразные, твердые, а также гидроабразивные суспензии.

Из всех перечисленных абразивных инструментов наибольшее распространение имеют шлифовальные круги. Они представляют собой тела вращения, различные по размерам и профилю в осевом сечении. На рис. 8.1. показаны основные виды шлифовальных кругов.

В зависимости от формы и назначения они бывают плоские прямого профиля (ПП), плоские с цилиндрическими и коническими выточками (ПВ,

ПВД, ПВК, ПВКД), плоские с двух – и односторонним коническим профилем (2П, 3П, 4П), диски (Д), кольцо (1К, 2К), чашечные цилиндрические (ЧЦ) и конические (ЧК), тарельчатые с различным углом профиля (1Т, 2Т, 3Т) и круги специального назначения, например (С) – для шлифования калибровых скоб, (П) – для заточки иглолок, (К_с) – для заточки ножей косилок и т.д.

Круги ПП и ПВ применяют для круглого наружного, внутреннего бес-

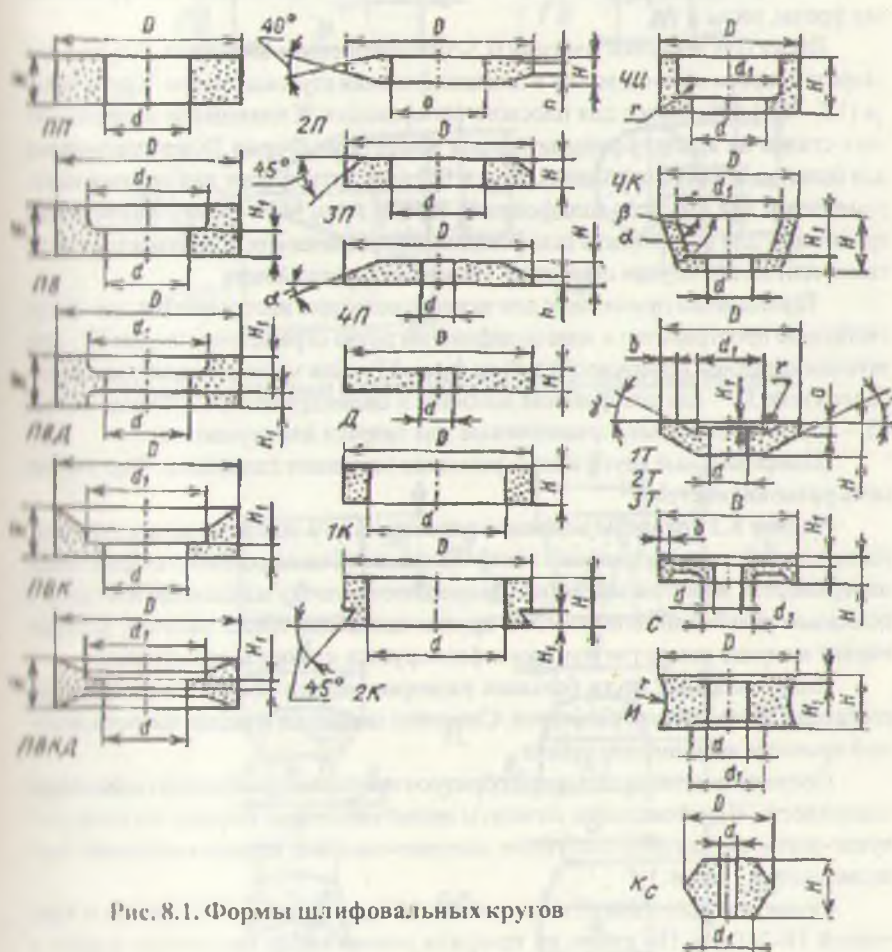


Рис. 8.1. Формы шлифовальных кругов

ования. Цилиндрические выточки с одной или с двух сторон делают тогда, когда зажимные фланцы могут помешать подвести круг к зоне шлифования. Конические выточки у плоских кругов ПВК и ПВКД служат для уменьшения площади контакта боковой поверхности круга с заготовкой при шлифовании буртиков, что уменьшает тепловыделение и улучшает качество шлифуемой поверхности. Плоские круги с коническим профилем применяют в тех случаях, когда в зоне шлифования ограничено пространство. Их используют, в основном, для заточки таких многолезвийных инструментов, как фрезы, пилы и т.д.

Диски (D) делают тонкими 0,5-5мм, диаметром 80-500мм. Служат для нарезки, прорезания канавки и для шлифования глубоких пазов. Круги конической формы (1К – 2К) применяют для плоского шлифования. К планшайбе шлифовального станка их крепят цементирующим веществом. Форма 2К предназначена для более надежного крепления. Круги ЧЦ и ЧК используют для заточки инструментов и для плоского шлифования. Кроме того, ЧЦ с толстыми стенками применяют для внутреннего шлифования цилиндрических поверхностей с буртиком или же для глухих отверстий. Их крепят планшайбами.

Тарельчатые применяют для заточки режущих инструментов, т.е. когда свободное пространство в зоне шлифования резко ограничено. Форма П – для заточки передней поверхности зубьев фрез, 2Т – для заточки червячных фрез, более узкие 3Т – для шлифования долбяков и цилиндрических зубчатых колес, 4Т – круги тарельчатые, применяемые для заточки инструментов.

Шлифовальные круги малых размеров называют головками. Они имеют семь разновидностей.

На рис. 8.2 показаны основные разновидности шлифовальных головок. Их применяют для внутреннего шлифования, а также для обработки фасонных поверхностей и снятия заусенцев. Закрепляют головку на шпинделе станка с помощью резьбовой шпильки. На другом конце она имеет насечку, которая входит в глухое отверстие головки и фиксируется клеящим веществом.

Шлифовальные круги больших размеров делают сборной конструкции, состоящие из нескольких сегментов. Сегменты зажимают в гнездах патрона, который крепится на шпинделе станка.

После закрепления сегменты образуют прерывистую плоскую кольцевую поверхность. Шлифовальные сегменты делают различные формы: плоские, выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые, выпукло-плоские, плоско-выпуклые, трапециевидные. (рис. 8.3)

Сегменты выпускаются длиной 50-394мм, шириной 45-380мм и толщиной 16-240мм. По длине их профиль постоянный. Различная форма и размеры сегментов обусловлены назначением и существующими конструкциями корпусов для их крепления. На рис. 8.4. показаны конструкции кругов с сегментами.

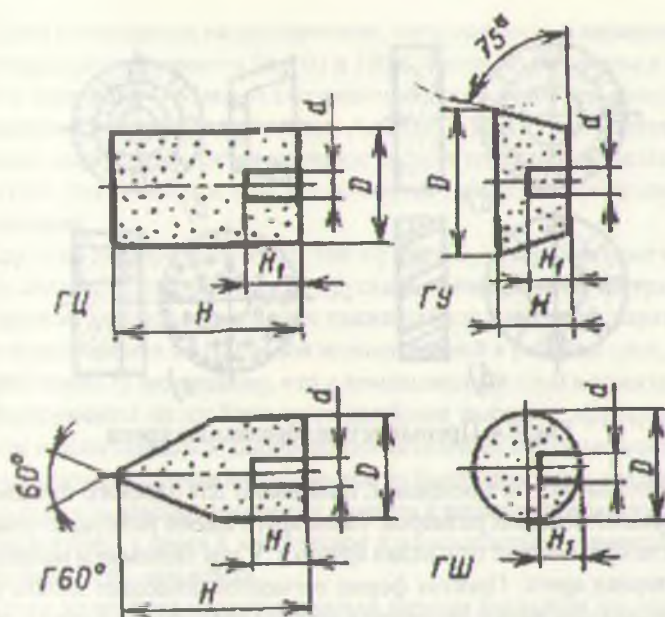


Рис. 8.2. Основные разновидности шлифовальных головок

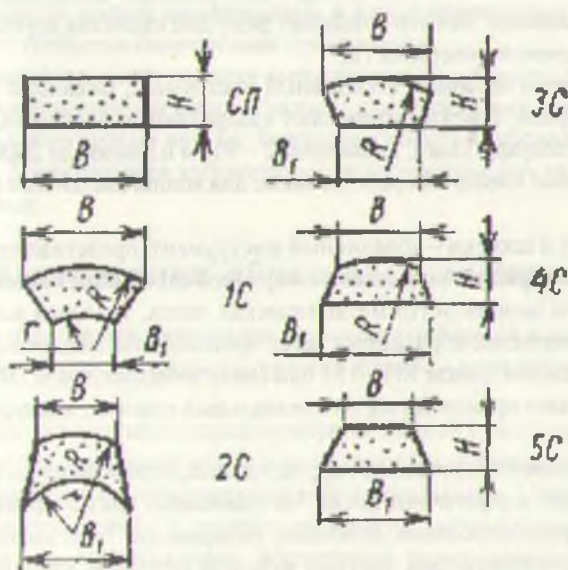


Рис. 8.3. Шлифовальные сегменты

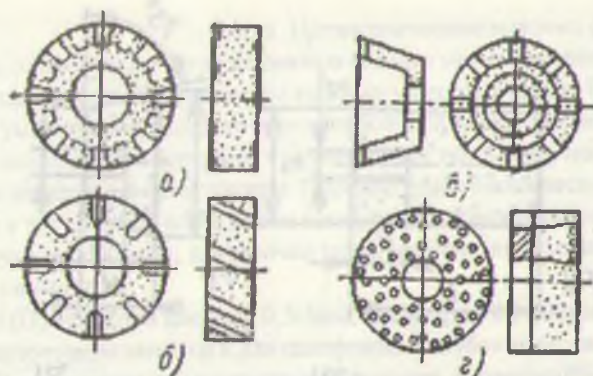


Рис. 8.4. Прерывистые абразивные круги

Сегментные круги, в основном, применяют для плоского торцевого шлифования деталей больших размеров. Такие круги имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с цельными кругами. У них экономнее и полнее используется материал круга. Простая форма сегментов позволяет делать их более качественными, они имеют надежное и жесткое крепление в корпусе, обеспечивают быструю замену в случае поломки одного из них.

Прерывистость режущей поверхности создает благоприятные условия для подвода СОЖ и отвода отходов шлифования. Снижается температура в зоне шлифования. Все это повышает режущие свойства круга, улучшает качество шлифуемой поверхности.

Брусками называют абразивный инструмент, имеющий по длине одинаковый профиль. Бруски изготавливают квадратными, плоскими, трехгранными, круглыми, полукруглыми, диаметром 2 – 90 мм и длиной до 200 мм. Их применяют для ручных слесарных работ, а также для хонинговальных и суперфинишных головок.

Лента и шкурки – абразивный инструмент, представляющий собой тонкую гибкую основу с закрепленными на ней слоем абразивного зерна. В качестве основы используется металлическая лента, тканевая или бумажное полотно. Закрепление абразивных зерен производится мездровым клеем, техническим казеином, лаком ЯН – 153 или синтетическим лаком ПФШ – 4. Шлифование лентами производится на специальных станках, а шкурками – вручную и на станках.

Из алмазов готовят круги, головки, отрезные круги и пилы, бруски и нафили, лента и эластичные диски. Их применяют для шлифования, хонингования, суперфиниширования, притирки, полирования твердых сплавов, сталей и чугунов, полупроводников, цветных металлов и сплавов, хрупких неметаллических материалов, а также для заточки и доводки твердосплавных инструментов.

Круги выпускаются на органических, металлических и керамических связках с концентрацией алмазов 50, 100 и 150%, которые заключены в алмазоносном слое толщиной 1 – 5 мм. Алмазоносный слой состоит из алмазных зерен или порошков, связки и наполнителя. Алмазные круги отличаются высокими режущими свойствами, резко снижают силы и температуру резания. Вследствие этого уменьшаются или исключаются прижоги и образование сетки микротрещин.

Круги из эльбора выпускают той же формы, что и алмазные круги. Кроме того, делается суперфинишные бруски и полировальная шкурка.

Круги из эльбора изготавливают также на металлической, керамической и органической связках со 100%-ной концентрацией в рабочем слое, который, в основном имеет ту же толщину, что и алмазоносный слой в алмазных кругах.

Инструменты из эльбора дают наиболее высокую эффективность при чистовом и окончательном шлифовании деталей из высоколегированных закаленных сталей и заточке инструментов из быстрорежущих сталей. Объясняется это тем, что эльбор химически инертен к железоуглеродистым соединениям, не вступает с ними в химическое взаимодействие и имеет более высокую теплоемкость, чем алмаз.

Круги из эльбора характеризуются низким удельным расходом, в 2 – 4 раза меньше алмазных и в 50 раз меньше абразивных кругов; высокой стойкостью рабочего профиля, что обеспечивает высокую точность обработки; меньшим тепловыделением в зоне резания, что повышает качество обработанной поверхности; малым засаливанием, а в ряде случаев отсутствует его, вследствие чего требуется более редкая правка круга.

Круги и шлифовальные головки выпускаются из кубонита. Форма, размеры, связки и концентрации вместо буквы Л для эльборовых кругов ставится буква К для кубонитовых кругов. Режущие свойства кубонита такие же, как и эльбора. Применяются кубонитовые инструменты для тех же целей, что и эльборовые.

8.2. Характеристики абразивных инструментов

Качество абразивных материалов определяется формой и величиной зерен, твердостью, теплостойкостью и другими физико – механическими свойствами.

Форма абразивных зерен характеризуется длиной l_z , высотой h_z , шириной b_z . Если все три измерения равны или их отношение близко к единице, то такие зерна называют изотермическими или нормальными. Они имеют наибольшую прочность. Если $l > h$, то зерна называют пластинчатыми, при большом преышении – мечевидными. Абразивные зерна имеют закругления вершины радиусом 3-30 мкм. Зернистость характеризует крупность зерен. В

зависимости от размера зерен абразивные материалы делятся на три группы: шлифзерна, шлифпорошки и Микропорошки. Размер зерен и обозначение зернистости приведены в таблице 8.1.

Шлифзерна и шлифпорошки получают способом рассева на ситах с контролем зернового состава ситовым методом. Верхний предел размера зерна соответствует размеру ячейки сита, сквозь которое зерно основной фракции проходит, а нижний предел – ячейки сита, на котором зерно основной фракции задерживается. Микропорошки получают методом статического осаждения в жидкости. При этом, чем больше время оседания порошка, тем мельче будет зерно. Контроль зернового состава проводят микроскопическим методом.

Абразивные зерна в инструменте закрепляются при помощи цементующего вещества – связки. От связки во многом зависит режущая способность и экономичность абразивного инструмента, а также качество обработанной поверхности. Связки бывают органические, керамические и металлические. К органическим связкам относятся бакелитовая, вулканитовая, эпоксидная и глифталевая.

Бакелитовая связка делается из искусственной смолы фенола и формалина. Круги на этой связке обладают высокой прочностью и упругостью, допускают большие окружные скорости.

Однако круги на бакелитовых связках имеют малую прочность по сравнению с керамической связке, что затрудняет их охлаждение стружки, вследствие чего они склонны к засаливанию, имеют малую огнеупорность (при температуре 300°С связка выгорает). Сцепляемость связки с зерном недостаточно высокая, поэтому круги быстро изнашиваются и теряют заданный профиль. Кроме того, связка чувствительна к щелочным растворам, нельзя применять охлаждающие жидкости, содержащие более 1,5% соды. Несмотря на эти недостатки, бакелитовая связка является наиболее распространенной из органических связок.

Круги на этой связке можно делать любой твердости. Бакелитовая связка обозначается буквой Б и имеет три разновидности: Б и Б1 и приготовляемые из pulverбакелита, Б2, получаемая из жидкого бакелита, 4 специальная Б3, применяемая для резбошлифовальных и тонких кругов. Круги на этой связке применяют при отрезке и прорезке заготовок, при плоском шлифовании.

Вулканитовая связка получается путем вулканизации каучука. Круги на вулканитовой связке по сравнению с бакелитовой более упруги и плотные, обладают большим полирующим действием. Но вулканитовая связка имеет недостатки: менее прочна и теплостойка. При температуре 150°С связка размягчается и абразивные зерна вдавливаются в нее; круги из нее делаются ограниченной твердости – СМ, С, СТ и Т. Вулканитовые круги, в основном, применяют для отрезных и прорезных работ, для полирования и отделочного шлифования, а также для ведущих кругов при бесцентровом шлифовании.

8.1. Размер зерна и их обозначения

Шлифзерна		Шлифпорошки		Микропорошки	
Размер, мкм	Обозначение	Размер, мкм	Обозначение	Размер, мкм	Обозначения
2500-2000	200	160-125	12	63-50	M63
2000-1600	160	125-100	10	50-40	M50
1600-1250	125	100-80	8	40-28	M40
1250-1000	100	80-63	6	28-20	M28
1000-800	80	63-50	5	20-14	M20
800-630	63	50-40	4	14-10	M14
630-500	50	40-30	3	10-7	M10
500-400	40	-	-	7-5	M7
400-315	32	-	-	5-3	M5
315-250	25	-	-	3-1	M3
250-200	20	-	-	1 и менее	M1
200-160	16	-	-		

8.2. Твердости абразивных кругов

Группа твёрдости	Обозначение степени твёрдости	Объём пор, %	Группа твёрдости	Обозначение степени твёрдости	Объём пор, %
Чрезвычайно мягкие	ЧМ	-	Средне-твёрдые	СТ1-СТ3	36-33
Весьма мягкие	ВМ1, ВМ2	50-48	Твёрдые	Т1, Т2	31,5-30
Мягкие	М1-М3	46,5-43,5	Весьма твёрдые	ВТ1, ВТ2	28,5-27
Средне-мягкие	СМ1, СМ2	42-40,5	Чрезвычайно твёрдые	ЧТ1-ЧТ10	25,5-24 % для ЧТ1 и ЧТ2
Средние	С1 С2	39-37,5			

Глифталевая связка представляет собой синтетическую смолу, состоящую из глицерина и фталевого ангидрида. Круги на этой связке имеют повышенную упругость и применяются, в основном, для отделочного шлифования закаленных сталей.

К миндальным связкам относятся керамическая, магнизиальная и силикатная.

Керамическая связка состоит из различных материалов: огнеупорной глины, полевого шпата кварца, талька, мела, жидкого стекла и других веществ, взятых в определенных количествах в зависимости от твердости круга. Керамическая связка делается плавящаяся (стекловидная) и спекающаяся (фарфоровидная). Первую, в основном, используют для изготовления электрокорундовых кругов, вторую — карборундовых.

Керамическая связка — огнеупорна, водостойка, химически устойчива к различным СОЖ, имеет относительно высокую прочность. Но она недостаточно упруга, имеет повышенную хрупкость, поэтому на этой связке чувствительны к ударом и изгибающим нагрузкам. Все же она универсальна, из нее нельзя делать только тонкие и прорезные круги.

Круги на керамической связке являются самыми распространенными. На этой связке выпускаются до 60% кругов, на бакелитовых 30% и более, на вулканитовой 4-7% и на других связках 1-3%.

Магнизиальная связка состоит из магнезита и хлористого магния. Эта связка гигроскопична, круги на них мало нагревают деталь, но малостойкие. Применяются редко или при плоском шлифовании, для кругов, изготовленных из естественного корунда и наждака.

Силикатная связка состоит из жидкого стекла, глины, мела и др. Она достаточно прочна, но мало сцепляется с абразивными зернами, меньше нагревает деталь. Круги на этой связке также применяются редко.

Металлические связки представляют собой сплавы меди, цинка, алюминия, никеля и других металлов. Их применяют, в основном, для алмазных и эльборовых кругов. Металлические связки бывают порошковые и гальванические.

Порошковую связку применяют в кругах, служащих для предварительной обработки или окончательной при шероховатости шлифуемой поверхности не выше $R_a = 0,63 \text{ мкм}$.

Наиболее распространенной из металлических связок является связка на бронзовой основе М1 и ее разновидности, а также связка М5 на цинково-алюминиевой основе и ее разновидности.

Круги на никелевой связке делают методом гальванического закрепления алмазных зерен на металлический корпус. Корпус обычно изготавливают из алюминиевых сплавов АК6, Д16, пластмасс или стали. Абразивный слой, толщиной обычно 1-3 мм, состоит из алмазного или эльборового порошка, связки и наполнителя.

Под твердостью абразивных инструментов понимают сопротивление связки усилиям вырывания абразивных зерен из его рабочей поверхности. Твердость абразивных инструментов зависит от количества и качества связки, вида абразивного материала, от форм и размеров абразивных зерен и технологического процесса изготовления.

Твердость абразивных инструментов на минеральной связке, зернистостью 125-16, определяется на пескоструйном приборе по глубине лунки, образуемой струей кварцевого песка, выбрасываемой сжатым воздухом под давлением 1500 ГПа. При этом, чем больше лунки, тем меньшая твердость круга.

Твердость кругов на бакелитовых связках определяется на специальном приборе – твердомере. Твердость инструментов из шлифовальных порошков зернистостью 12 – 14, а также алмазных и эльборовых кругов определяется по изменению глубины лунки на приборе Роквелла по шкале В под действием нагрузки 600Н на стальной шарик. По твердости абразивные инструменты подразделяются на девять групп и имеют более двадцати степеней твердости (таблица 8.2).

Твердость инструмента тем выше, чем больше номер в обозначении степени.

Круги на керамической связке имеют все степени твердости от СМ1 до Т1. На вулканитовой связке круги делаются твердостью С, СТ и Т без указания степени.

Внезапности от структуры определенной твердости круга соответствует определенный объем пор. Процентное соотношение между объемом, занимаемым абразивными зернами и связкой, может меняться для одной и той же твердости круга, а объем, занимаемый порами, остается постоянным, считая, что $V_z + V_{св} + V_p = 100\%$. В таблице 8.2 показано примерное процентное содержание объема, занимаемого порами для кругов различной степени твердости. Из таблицы видно, что чем меньше объем, занимаемый порами, тем тверже круг.

Абразивный инструмент по твердости должен быть выбран таким, чтобы он работал в условиях самозатачивания, когда по мере затупления абразивных зерен под действием возросшей силы резания они удаляются из состава круга и к работе вступают новые незатупившиеся зерна. Трудно дать точные рекомендации по правильному выбору твердости круга. Однако, необходимо руководствоваться следующим.

Чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть круг. В этом случае режущие зерна быстрее будут изнашиваться, поэтому они должны быстрее удаляться, заменяться другими, более острыми.

При обработке мягких материалов зерна медленно теряют режущие свойства, поэтому круг должен быть более твердым, чтобы незатупившиеся или износившиеся зерна дольше оставались в нем. Однако, для шлифования

весьма мягких и вязких металлов круг должен быть мягким, иначе он будет засаливаться.

Чем больше поверхность контакта при шлифовании, тем более острыми зернами должен работать круг, тем, следовательно, он должен быть мягче. Иначе, вследствие повышенной температуры резания возникнут прижоги на обрабатываемой поверхности.

При плоском шлифовании периферией круга необходимо применять более мелкие круги, чем при плоском шлифовании торцом. Чем больше скорость резания, тем мягче применяется круг.

Крупнозернистые круги могут быть более твердыми, так как они служат для предварительного шлифования и им меньше угрожает засаливание. Для чистовой обработки круг должен быть более мягким, чтобы при относительно меньшем износе абразивные зерна легче удалялись из круга и он работал бы более острыми новыми зернами. При точном шлифовании применяют круги повышенной твердости, чтобы он дольше сохранял заданные размеры и форму. Шлифование без СОЖ требует более мягких кругов, чем с применением СОЖ. При шлифовании прерывистых поверхностей требуется более твердый круг. При обработке деталей на более жестких станках можно применять более мягкий круг.

Для обдирочных и зачистных работ обычно используют круги твердостью СТ1-СТ3, для отрезных и прорезных работ – С-СТ, для получистого и чистового шлифования – М2-С2, для заточки быстрорежущих и твердосплавных инструментов – М3-СМ1.

Под структурой абразивных инструментов понимают плотность расположения абразивных зерен, которая зависит от объема, занимаемого тремя основными фазами – абразивной, связующей и газообразной, т.е. порами. Иногда абразивные инструменты имеют четвертую фазу – наполнитель.

Объемное содержание той или иной фазы принято выражать в процентах от общего объема инструмента. С увеличением объемного содержания зерен уменьшается расстояние между зернами.

Структура оказывает существенное влияние на режущие свойства абразивных инструментов, на процесс и качество обработки. При малом расстоянии между абразивными зернами режущая поверхность инструмента быстро забивается отходами обработки и засаливается. При слишком большом расстоянии между зернами стружка будет свободнее размещаться и легче выбрасываться, но снижается прочность инструмента.

Изменение объемного содержания абразивной фазы в обычных абразивных инструментах характеризуется номером структуры, а для алмазных и эльборовых инструментов – концентрацией зерен.

Структура обозначается номерами от 0 до 20. С увеличением структуры на один номер объем зерна в инструменте уменьшается, а объем связки

увеличивается на 2%, т.е. чем меньше процентное содержание абразивного зерна, тем больше номер структуры. Инструменты абразивных материалов имеют плотную, среднюю, открытую и высокопористую структуру. В таблице 8.3 показаны номера структур и объемное содержание абразивных зерен в процентах.

Абразивные инструменты зернистостью 125-80 обычно делают со структурами 3, 4, зернистостью 50-40 – со структурами 5, 6, зернистостью 25-12 – со структурами 7, 8. С уменьшением шероховатости поверхности и повышения твердости обрабатываемого материала, а также при профильном и прерывистом шлифовании требуются круги более плотной структуры 3-5, при шлифовании периферией круга – структуры 5-8, для плоского шлифования торцом круга – структуры 7-9. При скоростном шлифовании, а также при шлифовании мягких и вязких материалов рекомендуется применять высокопористые круги со структурами 14-16.

Алмазные и эльборовые круги характеризуются концентрацией зерен. Под концентрацией понимают условное содержание алмазного или эльборового порошка или зерен, равномерно распределенных в объеме алмазонасного слоя инструмента. Выпускаются круги 25, 50, 75, 100, 150 и 200% - ной концентрации.

Содержание алмаза или эльбора в 1 мм^3 алмазонасного слоя для кругов разной концентрации – 0,22 мг, при 100% - ной концентрации – 0,88 мг. Таким образом, по объему алмаза или эльбора содержится в 4 раза меньше, чем количественное обозначение концентрации. Так, для кругов со 100% - ной концентрацией алмазный порошок занимает только 1/4 часть, т.е. 25% объема, а остальные 75% приходятся на долю связки, наполнителя и пор. При этом, в отличие от высокопористых кругов наполнители не выжигаются, а остаются в связующей композиции, улучшая ее физико-механические свойства.

Алмазные круги для заточки твердосплавных инструментов рекомендуется применять 100 – 150% - ной концентрации; для плоского, круглого профильного шлифования – 50 – 100% - ной концентрации. Эльборовые круги для различных работ заточки, шлифования, доводки стальных и чугуновых деталей имеют концентрацию 100%.

8.3. Крепление шлифовальных инструментов

Крепление шлифовальных кругов на шпинделе станка должно быть надежным, жестким, обеспечивающим безопасность в работе и не создавать в круге внутренних напряжений. Для равномерного зажима между фланцами и кругом устанавливают прокладки – кольца толщиной 0,5–3,00 мм из кожи, войлока, резины или картона. Для избежания напряжений в зоне отверстия и порчи посадочного места крепежного приспособления круги надеваются на них с зазором, который в зависимости от размера круга равен 0,1–0,8 мм. На

рис. 8.5, а – д, приведены способы крепления кругов и на рис. 8.5,е показана конструкция планшайбы для крепления сегментных кругов. В зависимости от размера круги имеют различные методы механического крепления или их закрепляют методом склеивания.

8.3. Структура абразивных кругов

Структура	Плотная				Средняя								
Номер структуры	0	1	2	3	4	5	6	7	8				
Объёмное содержание абразивных зёрен, %	62	60	58	56	54	52	50	48	46				
Структура	Открытая				Очень открытая (высокопористая)								
Номер структуры	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Объёмное содержание абразивных зёрен, %	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	25	24	22

Шлифовальные головки закрепляют на шпильке с помощью склеивания (рис 8.5, а), для большой надёжности конец шпильки имеет насечку. Круги малого диаметра крепятся винтом (рис. 8.5,б,в). При этом круг может насаживаться (центрироваться) на гладкую поверхность винта, ввернутого в торец шпинделя, или непосредственно на конец шпинделя. Шлифовальные круги средних размеров, имеющие наружный диаметр до 100мм и диаметр отверстия до 300мм, закрепляются на шпинделе фланцами, стягиваемыми гайкой (рис. 8.5,г). Круги с диаметром отверстия более 30мм закрепляются на шпинделе станка переходниками и фланцами, стягиваемыми винтами или гайкой (рис. 8.5, д). Сегментные круги применяют на плоско-шлифовальных станках при работе торцом круга. Сегменты обычно наклеиваются на планшайбу (рис. 8.5,е). Склеивающие вещества могут быть из жидкого стекла, серы, бакелитового лака, целлулоида и др. Во всех случаях между торцами винтов, гаек и кругом, а также между фланцами и кругом устанавливаются картонные или прорезанные прокладки для более равномерного распределения давления.

Крепления 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.

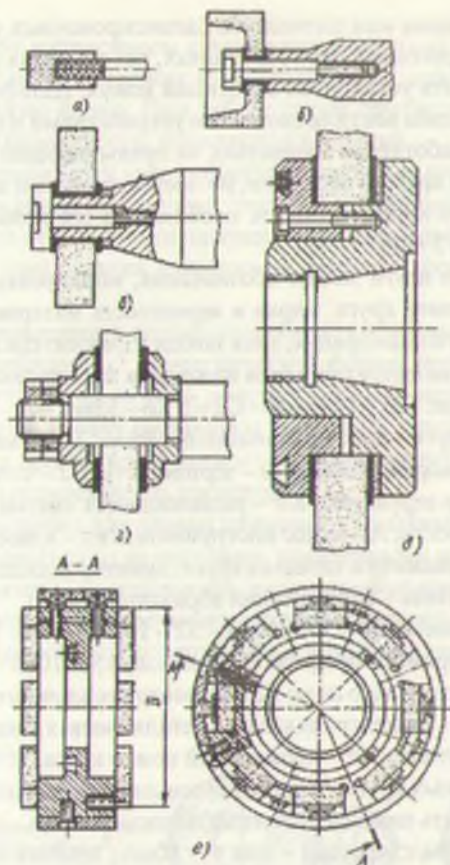


Рис. 8.5. Способы крепления кругов

а — на шпильке склсиванием; б — винтом; в, г — на шпинделе соответственно винтом и фланцами; д — переходным фланцем; е — сегментных кругов на планшайбе.

Шлифовальные круги работают при высоких скоростях, и в процессе работы возможны их разрывы, поэтому необходимо соблюдать правила техники безопасности.

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 перемешаются по круговому пазу. На станках, работающих шлифовальными кругами, должен быть установлен защитный кожух. 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 не менее 5 мин.

Шлифовальные круги имеют обозначения, маркировку. На маркировке указывается типоразмер круга, марка и зернистость материала, связка, твердость, структура или концентрация, знак завода изготовителя и порядковый номер инструмента. В качестве примеров ниже дана маркировка различных кругов. Круги абразивные: ПП – 24А – 40 – С2 – 5 К6 – 35м/с – А – 2кл – 250х16х76, ТАЗ, где ПП – тип круга – плоский прямого профиля; 24А – марка абразивного материала – электрокорунд белый; 40 – зернистость; С2 – степень твердости – средняя 2; 5 – номер структуры; К6 – разновидность связки – керамическая; 35м/с – рабочая скорость; А – класс инструмента; 2кл – класс неуравновешенности; 250х16х76 – диаметр и толщина круга, диаметр посадочного отверстия; ТАЗ – завод изготовитель – Ташкентский абразивный завод.

Круги из алмазов: АПВ – 150х10х3 – 32 – 100/80 – 50 – М1 – Т – 545, где АПВ – тип круга – прямого профиля с выточкой; 150х10х3 – диаметр круга, ширина и толщина алмазного слоя; 32 – диаметр посадочного отверстия; 100/80 – зернистость; 50 – концентрация; М1 – металлическая связка; Т – товарный знак завода изготовителя; 545 – порядковый номер круга.

На шлифовальных кругах (кроме кругов диаметром менее 250мм и эльборовых) должны быть нанесены цветные полосы: желтая – на кругах с рабочей скоростью $v = 60\text{м/с}$; красная – для $v = 80\text{м/с}$; зеленая – для $v = 100\text{м/с}$; зеленая и синяя – для $v = 125\text{м/с}$.

Эльборовые и кубонитовые круги маркирует так же, как и алмазные. Только вместо буквы А или АС для природных и синтетических алмазов ставится буква Л для эльборовых и буква К – для кубонитовых.

8.4. Правка шлифовальных кругов

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 уменьшится и происходит постепенное затупление абразивных зерен на рабочей поверх-

ности 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 вибрации.

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 формы производят правку. На правку расходуется от 45 до 80% полезного объема шлифовального круга. Затраты времени на правку составляют более 40% штучного времени обработки, поэтому от правки круга зависит не только качество и точность обработки, но и производительность процесса.

В настоящее время для правки применяют алмазный и безалмазные инструменты и осуществляют ее методами, показанными на рис. 8.6.

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.

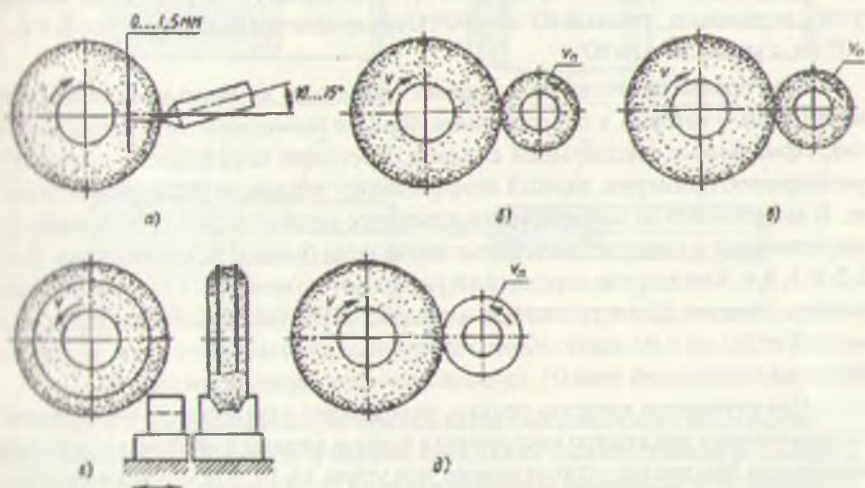


Рис. 8.6. Методы правки шлифовальных кругов: а) обтачиванием, б) обкатыванием, в) шлифованием, г) тангенциальным точением, д) накатыванием

Правка шлифовальных кругов производится: обтачиванием алмазом в оправе или алмазным карандашом (рис. 8.6,а); обкатыванием абразивным кругом (рис. 8.6, б); шлифованием кругами из карбида кремния со скоростью правящего круга $V_n = 0,5-1 \text{ м/с}$ или алмазным роликом со скоростью ролика $10-12 \text{ м/с}$ (рис. 8.6, в); тангенциальным точением алмазным бруском со скоростью продольной подачи $8-11 \text{ м/мин}$ (рис 8.6,г). Скорость заправляемого круга во всех случаях равна рабочей скорости круга. Шлифовальные круги правят также накатыванием стальными или твердосплавными роликами при скорости $1,0-1,5 \text{ м/с}$.

Правка алмазным инструментом обеспечивает повышение стойкости круга в 1,5-1,6 раза по сравнению с правкой безалмазными 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 $0,2 - 1$ карат 3, закрепленными механическим способом с помощью колпачка 4 и контргайки 1, зачеканкой или пайкой на оправе 2 (рис. 8.7,а). Кроме механического крепления алмаза в оправе может производиться зачеканкой в медном вкладыше 5, установленном на оправе 2, или пайкой (рис.8.7,б). Для правки односточных резьбошлифовальных кругов и правки фасонных профилей по копиру применяют алмазные иглы (рис 8.7,в), оснащенные спирофилированными алмазами размером $0,1-0,25$ карат. Алмазные иглы имеют угол у вершины α , равный 60° или 90° . Оправу обычно делают с углом $\beta = \alpha - 10^\circ$, т.е. с углом 50° или 80° .

При правке обтачиванием 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. 8.7,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 размера алмазов. Для изготовления алмазных карандашей применяют алмазы массой от $0,5$ до $0,01$ карат. Наиболее крупные алмазы используют для изготовления карандашей типа 01, наименьшие – для карандашей типа 04.

Для улучшения качества правки, уменьшения изнашивания и опасности подхватаывания правящего инструмента кругом алмазы в оправе и алмазные карандаши при правке устанавливают под углом $10-15^\circ$ к оси круга в сторону его вращения, а иногда на $1-1,5 \text{ мм}$ ниже оси круга. Правку производят при рабочей скорости шлифовального круга и продольной подаче $1,0-0,2 \text{ м/мин}$ и поперечной подаче $0,03-0,005 \text{ мм/дв.ход}$.

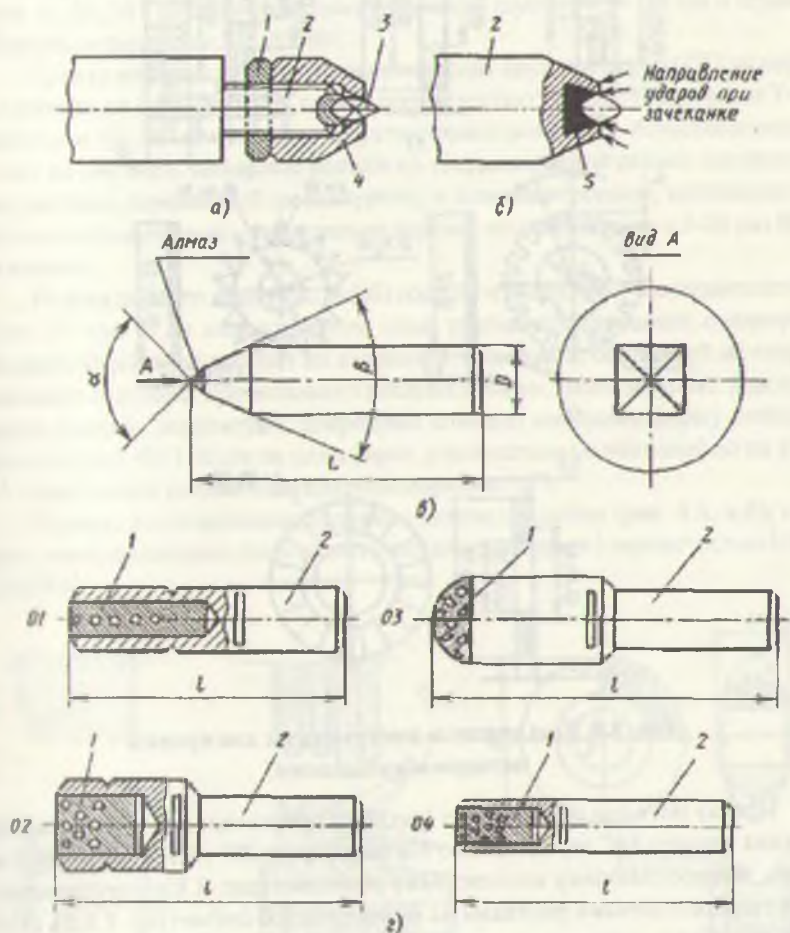


Рис. 8.7. Инструменты для правки шлифовальных кругов методом обтачивания: а – б) – алмаз в оправе, крепления соответственно колпаком и протечканкой; в) алмазная игла, крепления алмаза зачеканкой или пайкой; г) алмазные карандаши с расположением алмазов цепочкой (01), слоями (02) на сферической поверхности (03), с неориентированными алмазами (04)

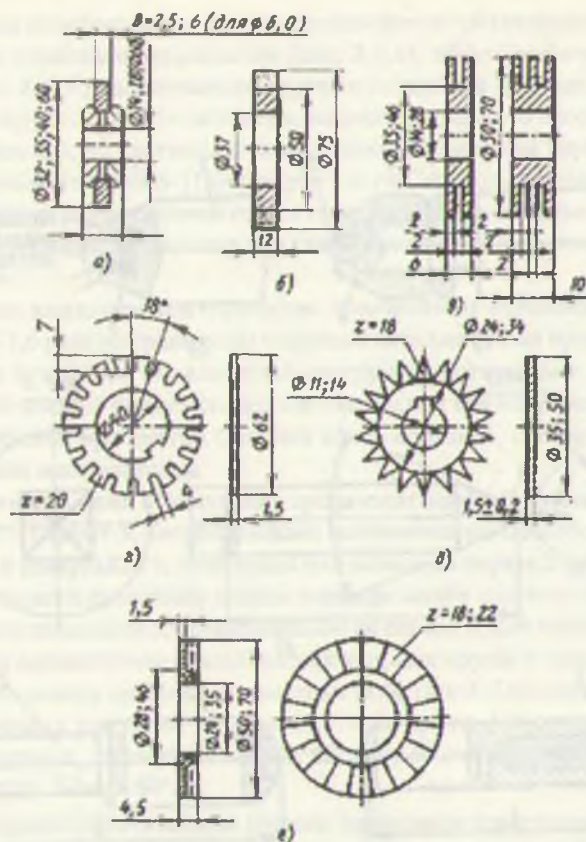


Рис. 8.8. Безалмазные инструменты для правки методом обкатывания

Правку методом обкатывания (рис. 8.8) производят кругами из карбида кремния черного 54С зернистостью 80, твердостью ВТ – ЧТ на керамической связке, твердосплавными монокристаллическими роликами (рис. 8.8,а), крупнозернистыми твердосплавными роликами на металлической связке (рис. 8.8,б), стальными дисками с кольцевыми канавками (рис. 8.8,в), тупозубыми (рис. 8.8,г) и острозубыми (рис. 8.8,д) звездочками и рифлеными дисками (рис. 8.8,е). Для интенсификации процесса правки кругами из карбида кремния ось правящего инструмента устанавливают под углом $8-10^\circ$ относительно оси шлифовального круга. Остальными инструментами круги правят при параллельном расположении осей.

Правящий инструмент крепят в специальных державках, устанавливаемых на столе станка. Звездочки и рифленые диски устанавливают комплекта-

ми, 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 $R_a = 2,5-0,63 \text{ мкм}$. Стальные диски, звездочки и шарошки изготовляют из стали 10, 20, 30 с последующей цементацией на глубину 0,3–0,5 мм и термообработкой до твердости 57–61 HRC.

Правку методом шлифования производят кругами формы ПП из карбида кремния на керамической связке зернистостью 160–50, твердостью Т–ЧТ, диаметром 60–150, алмазными или стальными роликами. Алмазные ролики делают на два вида: алмазные ролики на твердосплавной связке, изготавливаемые методом порошковой металлургии, и алмазные ролики, изготавливаемые гальванически; первые – значительно дороже, но стойкость их в 5–10 раз больше вторых.

Ролики первого вида (рис. 8.9, б) состоят из корпуса 3, изготовленного из стали 35 или 45, и алмазоносного слоя, прочно соединенного с корпусом. Алмазоносный слой состоит из алмазов 1 и связки 2, состоящей из твердосплавного порошка, пропитанного расплавленным, 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. 8.9, а, в), оснащают как природными, так и синтетическими алмазами 1 зернистостью 100/80–500/400.

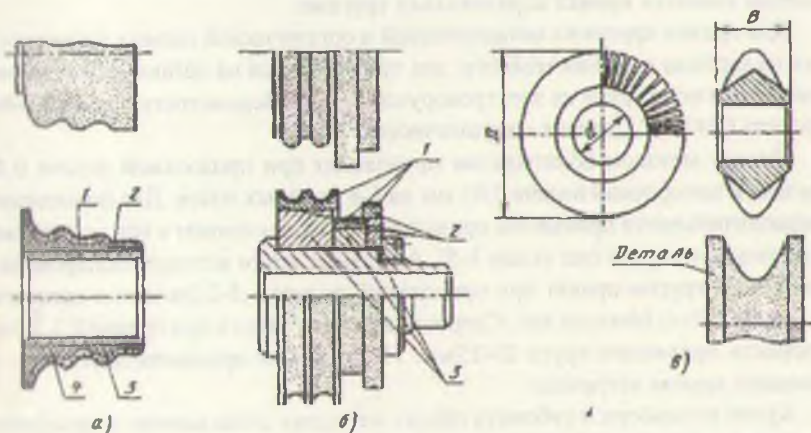


Рис. 8.9. Ролики для правки абразивных кругов:

а) – составной, изготовленный методом порошковой металлургии, б) – алмазные, изготовленные гальваническим способом, в) – металлический накатной

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.

На рис. 8.9,б показан комплект роликов прямого и фасонного профиля, изготовленных методом порошковой металлургии.

Кругами из карбида кремния правят при скорости вращения инструмента 0,5-1,0м/с, продольной подачи 1,0-1,5мм/мин и поперечной подачи 0,03-0,05мм/дв.ход.

Алмазными роликами правят при скорости вращения 10-20м/с, продольной подачи 0,3-1,0мм/мин и поперечной 0,01-0,03 мм/дв.ход.

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. 8.7,г). Шлифовальный круг в процессе работы соприкасается с бруском и заправляется.

Метод накатывания применяют при правке грузов с фасонным профилем, в том числе для многониточного резьбового шлифования и правке червячных абразивов. Её осуществляют стальными или твердосплавными роликами (рис. 8.9,в), имеющими профиль, соответствующий профилю детали при скорости 1-1,5м/с с поперечной подачей 0,05-0,06мм/мин.

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 0,8-1,2мм/мин и поперечной подаче 0,02 мм на 6-8 двойных ходов. Для повышения производительности правки ось правящего круга наклоняют к оси заправляемого алмазного круга под углом 3-5°. Алмазные круги методом шлифования абразивным кругом правят при продольной подаче 1,5-2,0мм/мин и поперечной подаче 0,03-0,04мм/дв.ход. Скорость алмазного круга при правке 0,3-1,0м/с, скорость правящего круга 20-25м/с. Направление вращения алмазного и правящего кругов встречное.

Круги из эльбора и кубонита правят методами обкатывания и шлифования подобно правке алмазных кругов. Круги для профильного шлифования правят алмазами в оправе и алмазными роликами.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики абразивных инструментов.
2. Укажите состав связок и их назначение.
3. Перечислите основные технические характеристики инструментов алмазных и из кубического нитрида бора.
4. Каковы особенности конструкции кругов для скоростного и обдирочного шлифования.
5. Приведите основные конструкции инструментов для правки.
6. Требования, предъявляемые к креплению кругов, и условия техники безопасности.
7. Для чего предназначены хонинговальные головки, укажите их конструкцию.

Глава 9.

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

9.1. Общие сведения

Основными направлениями развития технологических процессов в металлообработке в настоящее время являются производительность и гибкость, что связано со значительным ростом номенклатуры деталей в серийном и мелкосерийном производстве и необходимостью автоматизировать их производство. Этого можно достигнуть путем широкого применения станков с ЧПУ, многоцелевых станков и гибких производительных систем (ГПС).

Станки с ЧПУ обеспечивают высокую автоматизацию процесса обработки деталей, малые затраты времени на переналадку и высокое качество обработки.

Однако дополнительные затраты на автоматизацию приводят к значительному удорожанию металлорежущего оборудования и росту стоимости станко-часа. Поэтому возникает необходимость интенсификации процессов обработки на станках с ЧПУ и особенно на ГПС с целью окупаемости затрат на их приобретение.

Наряду с другими мероприятиями интенсивность использования станков с ЧПУ может быть достигнута применением специальных конструкций инструмента и оснастки. Критерием оценки необходимости применения такого инструмента и оснастки является минимальность себестоимости операции.

Переменная доля себестоимости операции, связанная с инструментом, зависит от режима резания, потерь времени на установку и замену инструмента, потерь времени на наладку инструмента на размер обрабатываемой детали, стоимости инструмента за период его стойкости, а также связана со случайным (преждевременным) выходом инструмента из строя из-за разрушения или неудовлетворительного формирования стружки.

Зависимость переменной доли себестоимости операции от скорости резания и качества инструмента имеет минимум при скорости резания $v_{эк}$, называемой экономической скоростью резания, обеспечивающей минимальную себестоимость операции (рис. 9.1).

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:

$$T_{эк} = \left(\frac{1}{m} - 1\right)(\Pi_1 E + \Pi_2 E_{II} + S_{II}) / E, \quad (9.1)$$

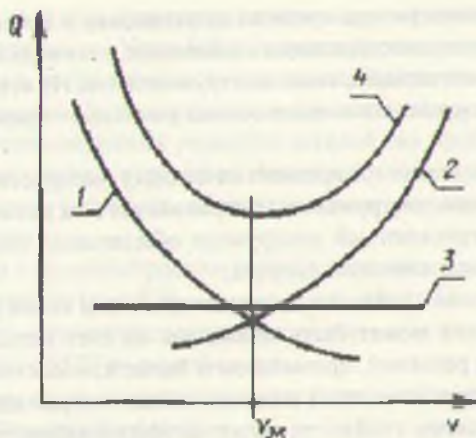


Рис. 9.1. Зависимость составляющих себестоимости операции от скорости резания: 1 — стоимость машинного времени обработки, 2 — затраты на инструмент, его замену и наладку, 3 — непроизводительные затраты, учитывающие постоянную долю себестоимости, 4 — суммарная кривая

где m — показатель степени в формуле $v = C_v / T^m$, 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 — себестоимость станкоминуты, т.е. E_H — заработная плата наладчика за одну минуту, т.е. S_H — затраты на амортизацию и заточку инструмента за период его работы без замены, т.е. за период стойкости, т.

Для многоинструментальных наладок с целью увеличения периода стойкости инструмента экономическую стойкость, рассчитанную по формуле (9.1), увеличивают: $T_{ЭКМ} = k_T T_{ЭК}$, где $T_{ЭКМ}$ — экономическая стойкость для многоинструментальных наладок, k_T — коэффициент увеличения стойкости инструмента, $k_T = 1,56/N^{0,2}$, N — количество инструментов в наладке.

Таким образом, снижение себестоимости операций, выполняемых на станках с ЧПУ, можно добиться: созданием инструмента, обеспечивающего повышение экономической скорости резания (т.е. снижающего переменную долю себестоимости); применением устройств, реагирующих на случайный выход инструмента из строя и на неудовлетворительное формирование стружки.

Повышение экономической скорости резания может быть достигнуто с помощью применения инструмента, который обеспечивает:

а) сокращение потерь времени на установку и замену инструмента за счет использования конструктивных элементов, взаимодействующих с механизмами автоматической смены инструмента (АСИ) станка. Совмещение АСИ со временем холостых ходов станка уменьшает время замены инструмента до нуля;

б) сокращение потерь времени на наладку инструмента на станке. Достигается созданием инструмента, настраиваемого на размер вне станка так, чтобы вновь установленный инструмент обеспечивал получение размеров детали в требуемой зоне поля допуска;

в) повышение стойкости инструмента, в том числе размерной. Стойкость инструмента может быть повышена за счет использования новых конструктивных решений, применением более износостойких материалов, в том числе путем нанесения износостойких покрытий. Существенным фактором повышения стойкости является эффективное применение СОЖ, направляемой в большом количестве непосредственно в зону резания. Размерная стойкость может быть повышена путем применения устройств автоматического восстановления режущих кромок или автоматической подналадки их положения;

г) повышение частоты вращения мелкоразмерного инструмента по сравнению с максимально допустимой на средних и тяжелых станках.

Снижение простоев оборудования, связанных с внеплановым выходом инструмента из строя, определяется следующими факторами:

- повышением надежности инструмента за счет применения сменных многогранных пластин взамен напайных;

- диагностикой состояния режущих кромок с целью немедленного выключения подачи, при этом, диагностические датчики могут быть встроены как в сам инструмент, так и в соответствующие узлы станка;

- применением средств формирования стружки с заданными свойствами и ее отвода из зоны резания.

Для формирования могут быть использованы как специальные стружколомающие уступы на передней поверхности сменных многогранных пластин, так и методы кинематического дробления с использованием узлов станков. Отвод стружки осуществляется обильной подачей СОЖ и отсосом с помощью специальных устройств.

Перечисленные требования к инструменту для оборудования с ЧПУ приведены на рисунке 9.2.

При работе на станках с ЧПУ для выполнения каждой операции (перехода) применяют инструментальные блоки, представляющие собой функциональную сборочную единицу в виде режущего и вспомогательного инструмента. Конструкция вспомогательного инструмента для ста

нков с ЧПУ состоит из двух основных элементов: базовых приспособле-

ний для установок на станке и присоединительных поверхностей для установки режущего инструмента. Устройства, осуществляющие автоматическую смену инструмента и его крепление на станке, определяют конструкцию хвостовика, который должен быть одинаковым для всего инструмента к данному станку. Для получения заданных размеров деталей без пробных проходов в соответствии с программой необходимо введение в конструкцию вспомогательного инструмента устройств, обеспечивающих регулирование положения режущей кромки.

Применяемая в машиностроении система вспомогательного инструмента имеет три подсистемы (рис. 9.3).

а) Подсистему вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком для станков с ЧПУ токарной группы.

б) Подсистему вспомогательного инструмента с базирующей призмой для станков с ЧПУ токарной группы.

с) Подсистему вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп.

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.

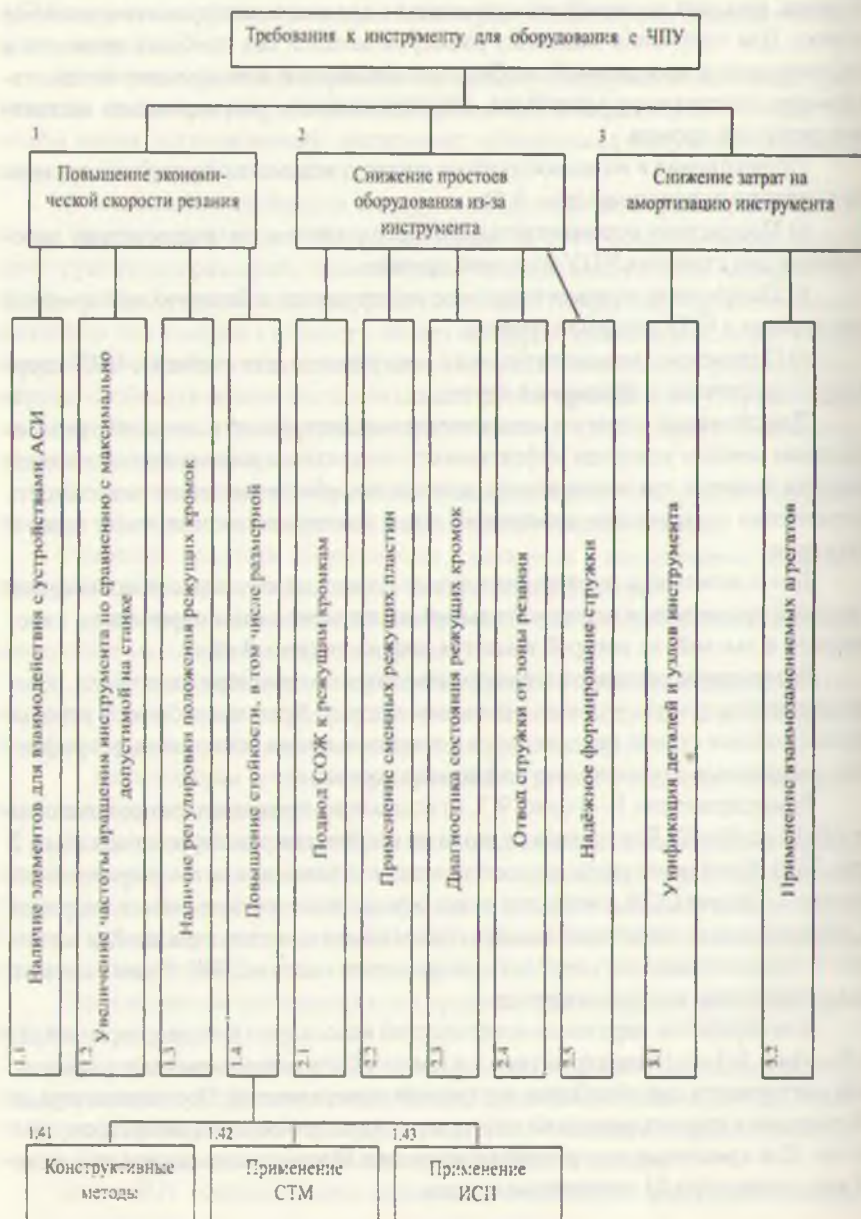
Для компоновки инструментальных блоков на станках с revolverной головкой применяется вспомогательный инструмент с цилиндрическим хвостовиком и лыской, на которой имеются рифления (рис. 9.4).

Базирование резцедержателя производится по цилиндру хвостовика, обеспечивающего точную угловую установку, к торцу. Крепление блока в revolverной головке станка производится с помощью клина, который имеет рифления, смещенные относительно рифлений хвостовика.

Резцедержатели 1 – 9 (рис. 9.3, а) позволяют применять резцы сечением от 16×16 до 40×40. Для установки резца на высоте центров служит подкладка 2 (рис. 9.4). Крепление резца осуществляется с помощью винтов и прижимной планки 3. Подача СОЖ к вершине резца осуществляется через канал в корпусе 1, образованный пересекающимися отверстиями и заканчивающийся шариком 4, позволяющим регулировать направление подачи СОЖ. Винт 5 служит для регулировки положения резца.

Для обработки наружных поверхностей используют резцедержатели 1, 2, 4, 7 — (рис. 9.3, а). Резцедержатели 3 и 5 могут быть использованы для крепления инструмента для обработки внутренних поверхностей. 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.

Рис. 9.2. Требования к инструменту для оборудования с ЧПУ.
Инструментальная оснастка для станков с ЧПУ



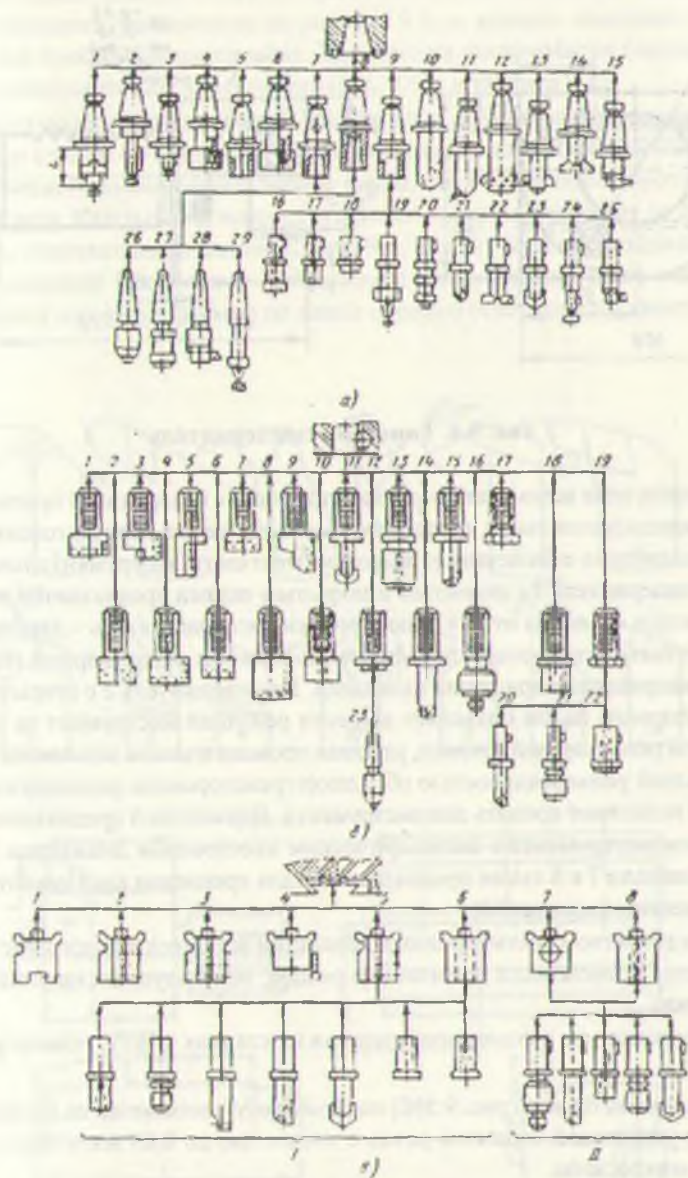


Рис. 9.3. Набор вспомогательных инструментов для станков с ЧПУ токарной, сверлильно-расточной и фрезерной групп

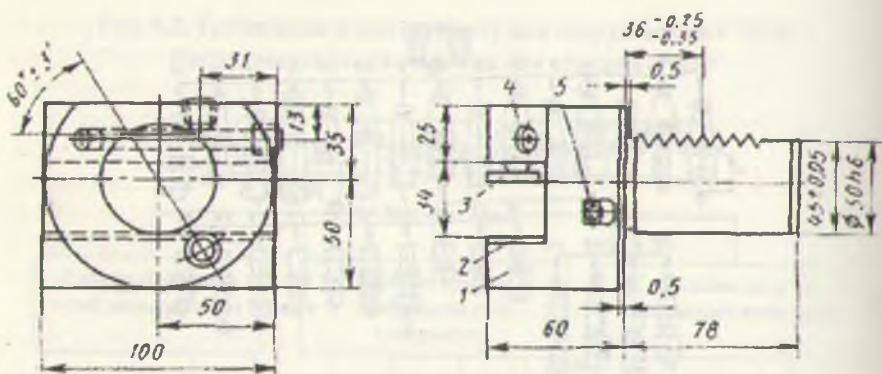


Рис. 9.4. Типовой резцедержатель

Подсистема вспомогательного инструмента с базирующей призмой (рис. 9.3, б) используется также на станках, имеющих револьверную головку.

Подсистема обеспечивает высокую жесткость инструментальных блоков. Резцедержатель 1 с открытым и закрытым пазами предназначен для крепления резцов сечением от 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, показана на рисунке 9.5, а.

Настройка блоков (рис. 9.5, б) на размер осуществляется на приборах БЗ – 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. 9.5, в) и креплением их в револьверных головках клиновидными сухарями.

Для металлорежущих станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной

групп инструментальные блоки собирают на базе подсистемы вспомогательного инструмента, показанного на рисунке 9.3, в, которая позволяет применять любой требуемый инструмент. Хвостовики инструментов (позиция 1 – 15) выполняются единой конструкции (рис. 9.6, а и таблица 9.1).

Место захвата манипулятором представляет собой канавку трапецевидальной 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 типов размеров, отличающихся длиной L (рис. 9.3, в) и размерами посадочного места под режущий инструмент. Допускаемое биение посадочного места для инструмента или регулируемой по длине оправки относительно хвостовика с

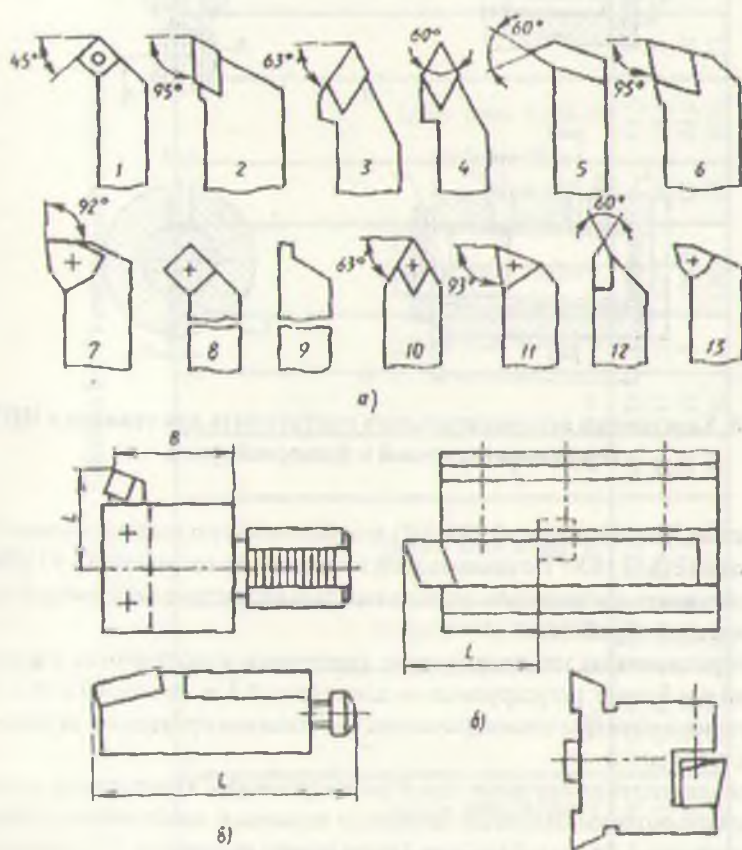


Рис. 9.5. Резцы и инструментальные блоки токарных станков с ЧПУ

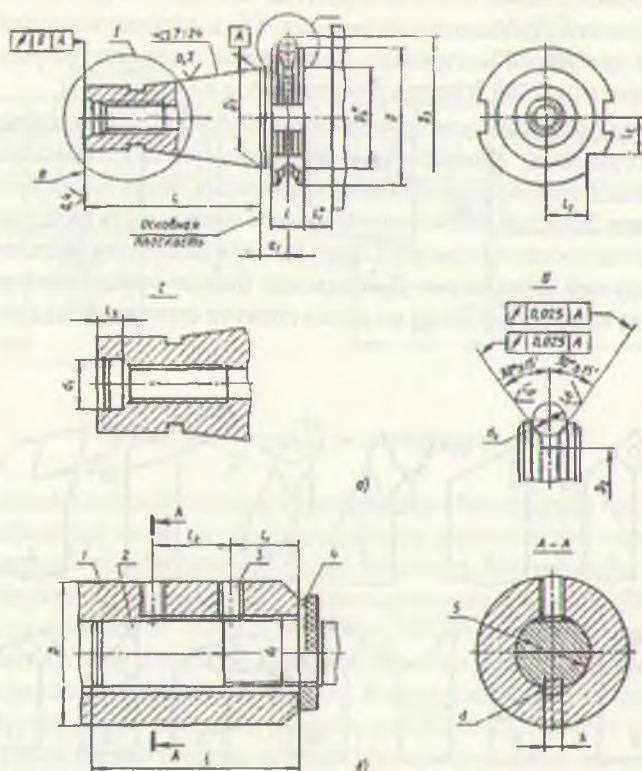


Рис. 9.6. Хвостовики вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп

конусностью 7:24 составляет 0,005-0,01 мм. 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 (рис. 9.3, в, позиции 9 и 16 - 25). Конструкция и размеры цилиндрических хвостовиков приведены на рисунке 9.6, б и в таблице 9.2.

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.

Кроме инструментов традиционной конструкции и номенклатуры при

Таблица 9.1. Размеры хвостовиков, мм

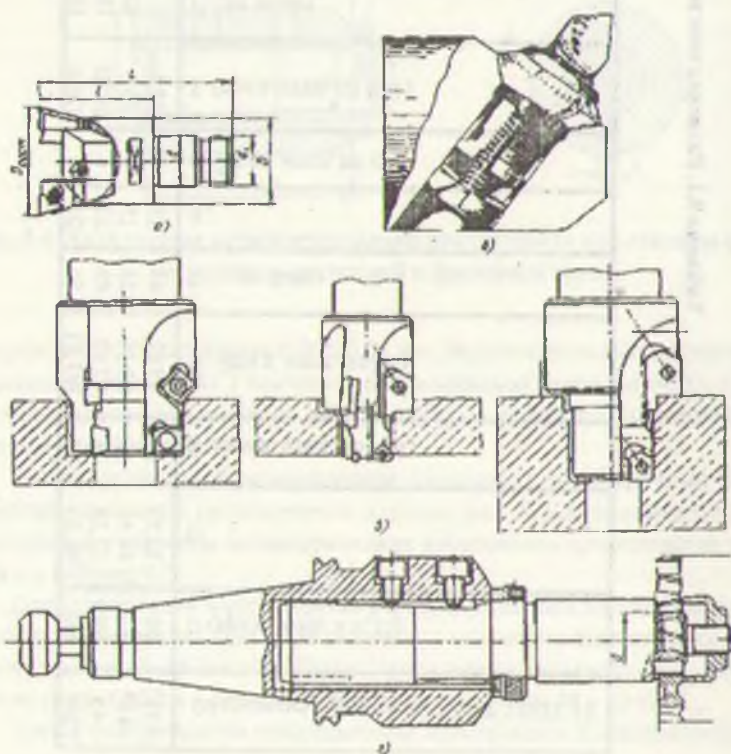
Обозначение кода по ГОСТ 25827-83	D (пред. откл. $\pm 0,15$)	D	D (пред. откл. по h12)	D (пред. откл. по h8)	D', не более	d ₁	d (пред. откл. по g5)	L (пред. откл. по h11)	l', не менее	l (пред. откл. -0,3)	z	a (пред. откл. $\pm 0,1$)	f (пред. откл. по радиусу отклонения)	Погрешность поверхности	Нормальная точность	Торцевое биение поверхности В отклонении относительно поверхности сты А
30	50	31,75	46	55,07	44	13	4	68,4	8	15,5	6	5,6	8	0,01	0,02	
40 ^а	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 ^а	100	69,85	94	107,61	85	25		126,8	16	30,0	11	9,2	12	0,01	0,02	

Таблица 9.2. Размеры цилиндрических хвостовиков, мм

$d \frac{H6}{g5}$	$d_{\text{упр}} \text{ мм}$	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

меняют инструменты, обладающие повышенными надежностью, точностью, регулируемые по размеру и комбинированные, обеспечивающие совмещение переходов, а, следовательно, повышение эффективности оборудования.

С целью сокращения номенклатуры инструмента применяются регулируемые по диаметру расточные головки (рис. 9.7, а) с диапазоном регулирования от 12 до 35 мм. Для обработки точных отверстий используют резцы с микрометрическим регулированием вылета, оснащенные припаянной или многогранной пластиной из твердого сплава (рис. 9.7, б). Конструкция вставок отличается большим разнообразием. Конструкции комбинированных инструментов показаны на рисунке 9.7, в



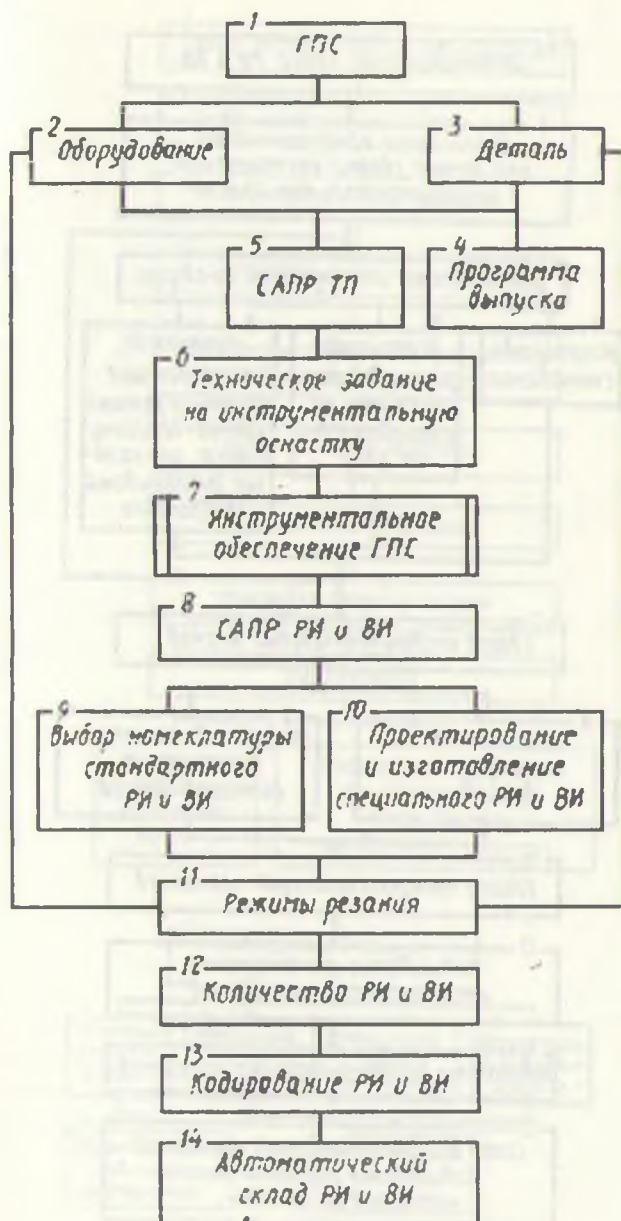
вок 2 для метчиков. Величина крутящего момента регулируется гайкой 6. Метчикодержатель возвращается в исходное положение после нарезания резьбы и выхода метчика из нарезаемого отверстия с помощью пружины 8. Нарезание резьбы происходит путем самозатягивания метчика благодаря выдвиганию метчикодержателя. Замена вставки 2 производится нажатием на втулку 1 до совмещения оси канавки втулки с осью шарика 9.

Многоцелевые станки и гибкие производственные системы (ГПС) представляют собой совокупность технологического оборудования и систем обеспечения её работы в автоматическом режиме при изготовлении деталей произвольной номенклатуры. Создание и развитие многоцелевых станков и ГПС происходит в направлении развития безлюдной технологии, обеспечивающей работу оборудования в течение заданного времени без участия оператора. Для этого оборудование оснащается системами контроля за работой станка, состоянием инструмента, точностью деталей, что значительно увеличивает его стоимость. Это вызывает необходимость интенсификации режимов резания, что приводит к резкому уменьшению стойкости режущего инструмента и увеличению 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 поломке инструмента, его фактических размерах с целью автоматического корректирования управляющих программ.

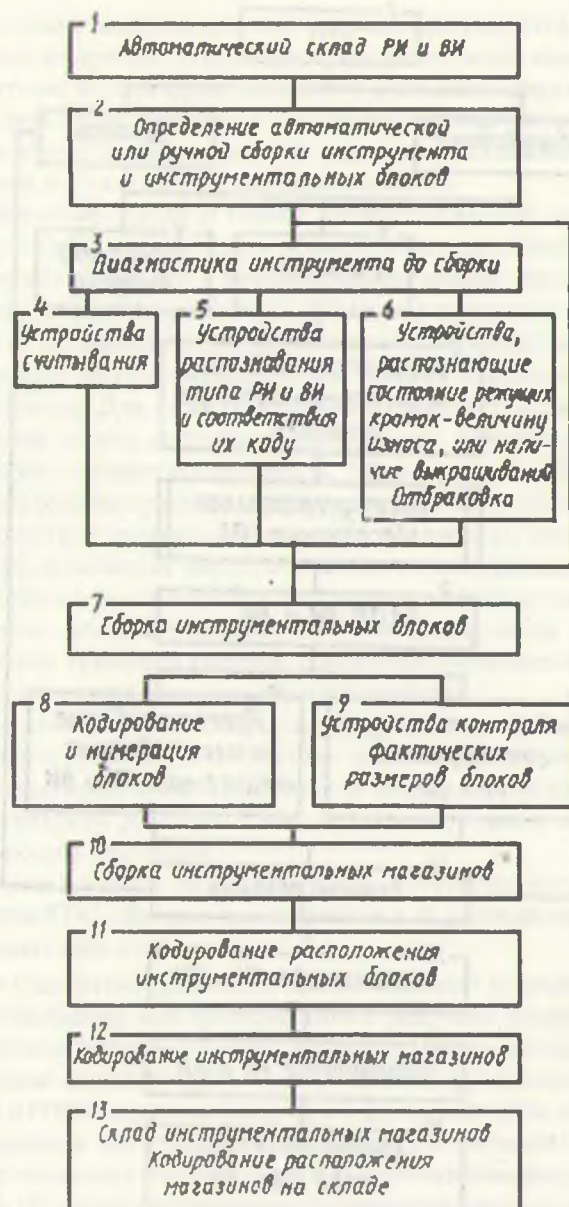
На рисунке 9.8 представлена укрупненная структура инструментального обеспечения ГПС, дающая представление о её содержании и функциях. Структура имеет пять подсистем.

Первая подсистема (рис. 9.8, а) предусматривает проведение методами САПР работ по выбору или проектированию режущего инструмента (РИ) и вспомогательного инструмента (ВИ), его кодирование и размещение в автоматизированном складе РИ и ВИ. Конструкции инструментов для многоцелевых станков и ГПС сверлильно-расточной и фрезерной групп аналогичны ранее рассмотренным для станков с ЧПУ, однако для расточки отверстий по 7 качеству применяются специальные блоки с автоматическим регулированием размеров. На рисунке 9.9 приведена конструкция такого блока фирмы "De Vlieg" (США).



(1)

Рис. 9.8. Укрупненная структура инструментального обеспечения ГПС



б)

Рис. 9.8. Укрупненная структура инструментального обеспечения ГПС

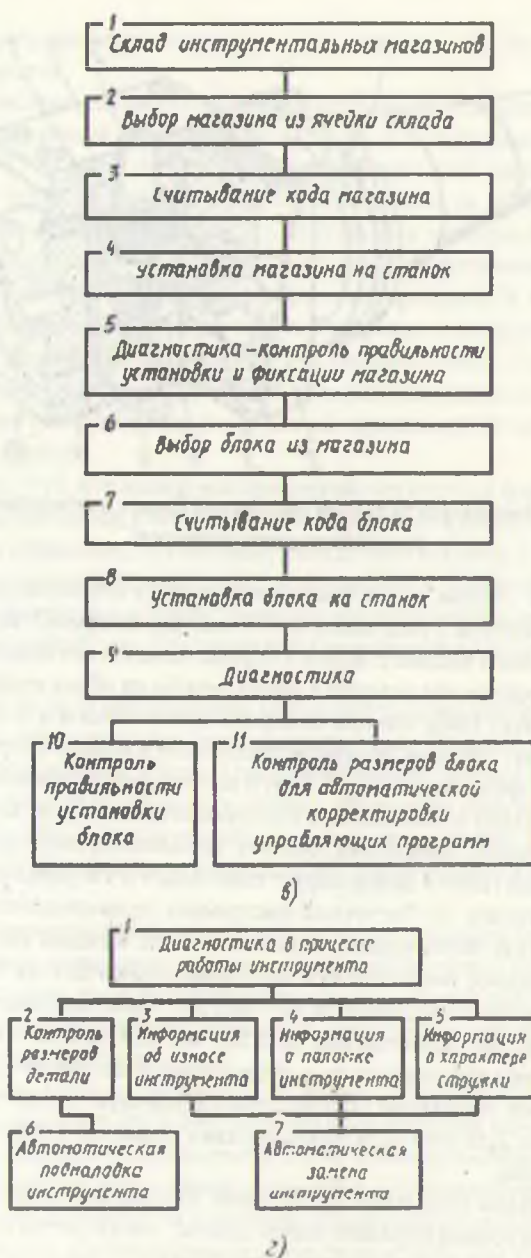


Рис. 9.8. Укрупненная структура инструментального обеспечения ГПС

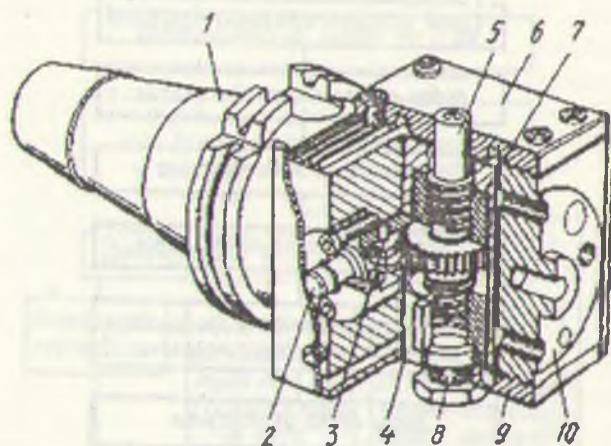


Рис. 9.9. Инструментальный расточной блок с автоматическим регулированием размеров

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 инструментом носителем 10 без зазора посредством рифлений. Вместе они образуют параллелограмм, который при осевом перемещении гайки 4 деформирует пластины 6 и 9 и параллельно смещает инструмента носитель 10. Расточный инструмент, привинченный к фланцу инструмента носителя, перемещается параллельно оси. Каждый ход толкателя вызывает параллельное смещение оси инструмента носителя 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 регулировочными устройствами, у которых расточные оправки поворачиваются на некоторый угол. Ползун 2 можно приводить в действие, используя перемещение детали с помощью стандартного упора. Ко-

манду на регулирование получают от датчика касания, который измеряет диаметр отверстия.

Подсистемы вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком и базирующей призмой (рис. 9.3, а, б) нельзя использовать на токарных станках ГПС из-за их громоздкости и необходимости настройки на размер с большими затратами ручного труда. Подсистемы не обеспечивают возможности создания компактных инструментальных магазинов большой вместимости. Указанных недостатков не имеют инструментальные системы для токарных станков, построенных 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 цапговом зажиме.

На рис. 9.10, а показана инструментальная система фирмы "Krupp Widia" (ФРГ), отличающаяся компактностью инструментальных головок 1, которые крепятся на державках 2 с помощью тяги 5 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. Предварительная настройка на размер вне станка не требуется.

На рис. 9.10, б представлена инструментальная система "Hertel" (ФРГ). Основной системы является самоцентрирующее торцевое зубчатое зацепление с помощью муфты Хирта. Оно обеспечивает плотное соединение между резцовой головкой и зажимным блоком. Зажимная цапга, состоящая из металлических лепестков с резиновыми прокладками, может достаточно широко раскрываться в радиальном направлении, что облегчает установку резцовых головок.

При автоматической смене одних и тех же резцовых головок достигается повторяемость положения вершины режущей кромки в пределах $\pm 0,002$ мм как в радиальном, так и в осевом направлениях, однако при замене различных головок разброс положения возрастает, что требует введения коррекции по длинным датчикам контакта.

Резцовая головка системы BTS фирмы "Sandvik Coromant" (Швеция) показана на рисунке 9.10, в. Резцовая головка имеет две пары взаимно перпендикулярных базовых поверхностей 1, 2 и 4, 5, между которыми расположен паз 7. При затягивании цилиндрического штока 3 боковые базовые поверхности головки распружиниваются и надежно поджимают головку к четырем плоскостям державки. Снизу головка опирается на упор 8. Две V-образные канавки 6 на боковых поверхностях головки служат для ее захвата манипулятором при автоматической замене.

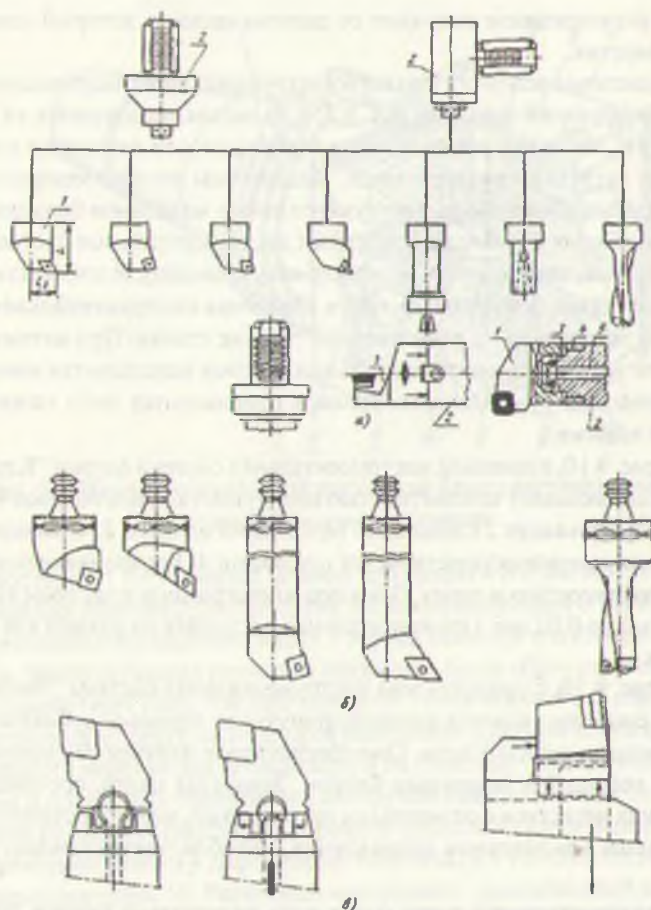


Рис. 9.10. Системы модульной инструментальной оснастки для токарных станков с ЧПУ

Головки системы BTS хранятся в барабанных и дисковых магазинах по 12, 19 и 24 инструментов каждого типа.

Вторая подсистема (рис. 9.8, б) предусматривает проведение работ по автоматизированной или ручной сборке инструмента, инструментальных блоков и комплектование инструментальных магазинов. Устройства диагностики для распознавания типа, размеров инструмента и состояния режущих кромок предусматривает применение специальных датчиков касания перемещающихся по контуру или режущим кромкам инструмента.

Существуют много способов кодирования инструмента и устройств для их считывания.

В условиях автоматизированного производства контроль инструмента полностью автоматизирован. Обычно контроль сочетают с предварительной наладкой инструментальных блоков, с комплектацией инструментальных магазинов и обязательно с кодированием инструмента.

Среди инструментов со сменными многогранными пластинами группа токарных резцов наиболее представительна. Учитывая большое число фирм, изготавливающих этот инструмент, и пестроту его обозначения, ISO (международная организация по стандартизации) предпринята попытка создать единую систему кодирования токарных резцов, в которую составной частью входят отдельные символы обозначения пластин. Пример построения обозначений цельных (полномерных) расточных оправок согласно рекомендации ISO показан на рисунке 9.11.

Другие типы токарных резцов кодируются в соответствии с рассмотренной схемой.

В оптико-электронной измерительной машине (рис. 9.12) инструмент в тажимной патрон измерительного устройства подается из палеты специальным роботом.

Специальное устройство служит для опознавания инструмента по его коду. Управляющая процессом измерения ЭВМ вызывает из библиотеки все данные об инструменте: число режущих пластин, заданные углы пластин, их форму, размеры.

Оптическое устройство машины работает по принципу проходящего света. При этом измеряется не только длина и диаметр инструмента, но и угол поворота – по позициям, заданным в измерительной программе.

Из отдельных шагов замера ЭВМ создает кажущееся изображение инструмента и сравнивает его с заданным. По отклонениям (например, вследствие изнашивания инструмента) ЭВМ определяет пригодность инструмента для дальнейшего использования. После контроля необходимые параметры инструмента, в частности координаты центра режущей части, передаются в память основной ЭВМ, а также в устройство числового программного управления станка, фиксируется на каком-то периферийном устройстве или специальным кодом записывается на кодоискателе самого инструмента. В последнем случае уже сам инструмент будет являться своеобразным программоносителем информации о самом себе. Такой вариант считается в настоящее время наиболее удобным, так как резко упрощает систему обмена информацией между элементами производственного комплекса, сокращает и упрощает информационные потоки между инструментальными складами, участками контроля и наладки инструмента, системами ЧПУ. Кроме того, этим обеспечивается диалог между УЧПУ станков и системами инструментообеспечения без какой-либо компьютерной сети между объектами ГПС.

Для этого каждый инструментальный блок имеет носитель информации (рис. 9.13). Носитель информации – полупроводникового типа с электрически

стираемой программируемой памятью. Он оформлен в виде миниатюрной вставки и крепится сверху в гнездо инструментального блока.

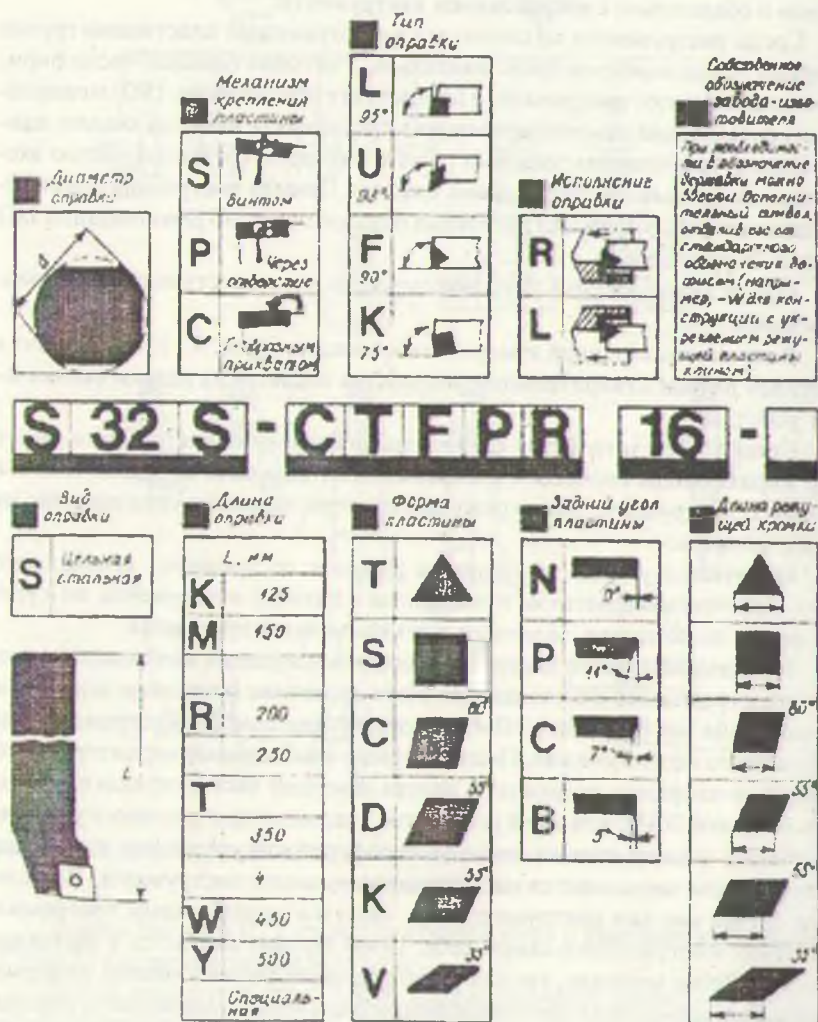


Рис. 9.11. Схема построения обозначений цельных расточных

Информация на микросхему вставки передается через пять контактных входов, имеющих на верхней плоскости вставки. В эти входы при записи или считывании информации входят пять штырей специальной считывающей головки. Такими головками должны быть оснащены приборы и устройства кон-

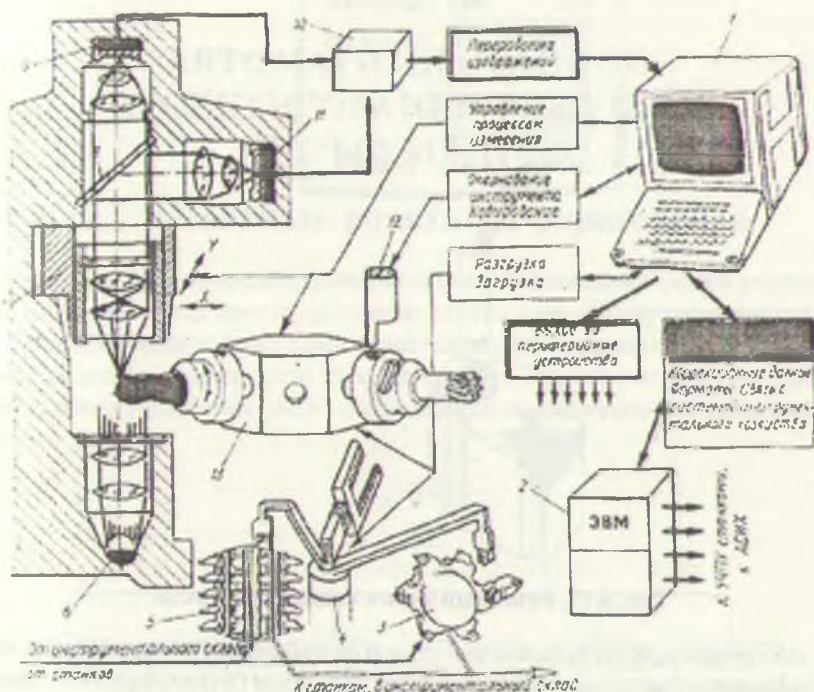


Рис. 9.12. Схема оптико-электронной измерительной машины в зоне проверки и наладки инструмента автоматизированной системы инструментального хозяйства (АСИХ)

троля и кодирования инструмента на инструментальном складе, на участке подготовки и наладки инструмента и магазины инструментов у каждого станка с ЧПУ.

Информационная емкость вставки инструментальных блоков достаточно велика. В двоично-десятичном коде во вставке можно хранить 256 кодовых цифр со знаками плюс-минус. Это позволяет в каждом инструментальном блоке записать его кодовый номер, номер инструмента в управляющей программе и номер самой программы, позицию инструмента в магазине, размеры инструмента, расчетные данные и стойкости. Одновременно на период эксплуатации инструмента на вставку можно записывать различную статическую информацию (общее время работы, уровень сил резания, причину поломки), что обеспечит через инструмент своеобразную обратную связь в линии станок — инструмент — инструментальный склад — участок подготовки инструмента. Это способствует децентрализации информационных потоков

КОД	T005	ДИСК 153
КОМПОНЕНТ	01	
ОПЕРАЦИЯ	20	ПЕРЕХОД 205
ДЛИНА X	83.05	
ДЛИНА Z	53.75	
РАДИУС	0.10	
СТОЙКОСТЬ I	20	
СТОЙКОСТЬ II	15	
ЗАПИСЬ	255	SANDVIK



Рис. 9.13. Резцовый блок с кодовой вставкой

по инструменту, поскольку каждый станок связывается с инструментальным складом индивидуально и снабжается инструментом (в зависимости от режимов и характера работы) напрямую, минуя центральную ЭВМ.

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 себестоимость операции?
4. Перечислите к подсистемам вспомогательного инструмента для станка с УПУ и ГПС.
5. Приведите преимущество и недостатки подсистемы вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком для токарных станков с ЧПУ.
6. От каких конструктивных параметров инструментальных блоков зависит точность их позиционирования и податливость?
7. Укажите преимущества и недостатки модульной подсистемы вспомогательного инструмента для станка с ЧПУ сверлильно – расточной и фрезерной групп.

Глава 10.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

10.1. Основные понятия и определения

Внедрение и совершенствование 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 на ряд взаимосвязанных систем (рис. 10.1):

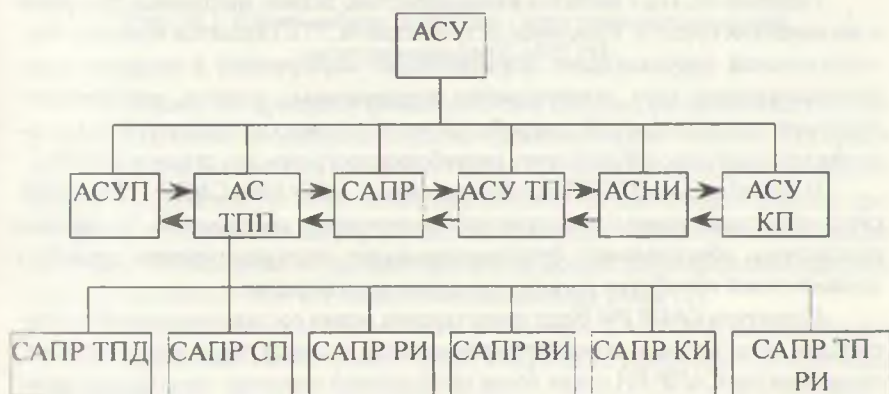


Рис. 10.1. Схема взаимосвязей автоматизированных систем управления и место САПР РИ в общей их структуре

- автоматизированные системы управления производством (АСУП);
- системы автоматизированного проектирования (САПР);
- автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП);
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП);
- автоматизированные системы управления научных исследований (АСУ НИ);
- автоматизированные системы управления качеством продукции (АСУ КП).

На предприятиях машиностроительного профиля САПР РИ является составной частью АСТПП, которая объединяет в единый непрерывный процесс следующие взаимосвязанные этапы автоматизированного проектирования:

- систему автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей основного производства (САПР ТПД);
- систему автоматизированного проектирования станочных приспособлений (САПР СП);
- систему автоматизированного проектирования режущих инструментов (САПР РИ);
- систему автоматизированного проектирования вспомогательных инструментов (САПР ВИ);
- систему автоматизированного проектирования контрольно-измерительных инструментов (САПР КИ);
- систему автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления режущих инструментов (САПР ТП РИ) и др.

Основой АСТПП является взаимодействие людей, машинных программ и технических средств. Конечным результатом АСТПП является 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 подсистемы – САПР РИ и САПР ТП РИ относятся непосредственно к проектированию режущего инструмента. Указанные подсистемы обеспечивают функционирование технологического процесса механической обработки детали основного производства.

Структура САПР РИ будет представлена всеми составляющими её подсистемами, если деталью основного производства является режущий инструмент, тогда понятие САПР РИ носит более обобщенный характер, чем проектирование отдельного вида режущего инструмента. Для каждого конкретного случая выбор составляющих структуры САПР РИ зависит от объекта производства, постановки задачи проектирования и условий функционирования системы.

Раскроем содержание структурных элементов организационной структуры САПР РИ (Рисунок 10.2).

Блок 1 содержит общую характеристику САПР РИ с раскрытием содержания решаемых задач, что фиксируется одним из программных модулей.

Блок 2 определяет область формирования проектно-программных модулей (ППМ, блок 4) на конструирование определенной номенклатуры режущих инструментов (блок 3).

В блоке 5 формируются базы данных (БД) на режущий инструмент или его элементы, которые информационно объединены в систему базы данных (СБД, блок 6).

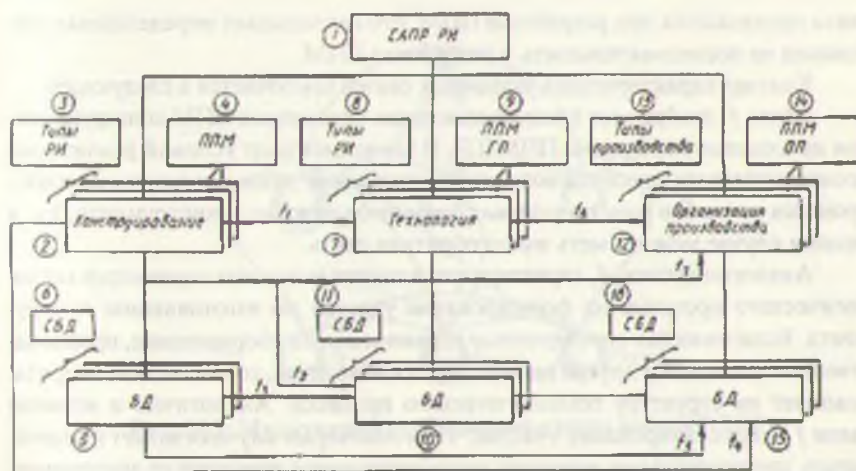


Рис. 10.2. Схема набора проектно – программных модулей интегрированной САПР РИ

По такому же принципу формируются и системы технологических процессов (ТП, блок 7) с набором ППМ на проектирование типовых или оригинальных технологических процессов (ППМ ТП, блок 9), на заданную номенклатуру инструмента (блок 8). Базы данных (блок 10) для технологических процессов могут содержать информацию как о типовых технологических процессах, так и об элементах нетиповых процессов, общих для нескольких однотипных инструментов. Эти БД также объединены СБД (блок 11).

Отображенные структуры задач, решаемых САПР РИ, целесообразно представить в виде схемы набора ППМ, СБД и БД с указанием функциональных связей.

Наличие в САПР РИ ППМ на проектирование элементов инструментального производства (блок 12) необходимо при разработке новых производств. В этом случае на базе спроектированных технологических процессов формируется ППМ на проектирование производственных участков по изготовлению инструментов. Общие программные модули (блок 14) содержат программы по компоновке оборудования, расчету численности рабочих, расчету производственных площадей и др. Базы данных (блок 15) содержат информацию о технологических процессах, оборудовании, контрольно-измерительных приборах, типовых планировках участков, цехов и заводов по производству инструментов. Общей информационной базой является соответствующая СБД (блок 16).

Элементы систем конструирования, технологии и организации производства взаимосвязаны, что на рисунке 10.2 отображено связями f_1-f_{16} . Эти

связи проявляются при разработке ППМ, что накладывает определенные требования на последовательность в разработке ППМ.

Краткая характеристика указанных связей заключается в следующем.

Связь f_1 отображает влияние выходных параметров ППМ конструирования на входные параметры ППМ ТП. В зависимости от условий реализации технологического процесса возможно воздействие данных технологического процесса на выбор конструктивных элементов режущего инструмента, т.е. в данном случае может иметь место обратная связь.

Аналогично связь f_6 характеризует влияние выходных параметров технологического процесса на формирование участка по изготовлению инструмента. Если имеются определенные ограничения на оборудование, производственные площади и другие параметры производства, то это, в свою очередь, повлияет на структуру технологического процесса. Аналогично и влияние связи f_7 на проектирование участка, что в некоторых случаях может предотвратить проектирование варианта технологического процесса на инструмент из-за несоответствия производственных условий выбранной конструкции инструмента.

Несколько другой характер имеют связи f_2, f_3, f_4, f_5 . Они характеризуют взаимодействие элементов информационной среды в виде БД на конструирование, технологию изготовления и проектирование производственных участков.

С целью фиксации количественных характеристик структуры решаемой задачи схему, представленную на рисунке 10.2, можно отобразить в виде мультиграфа $\Gamma_{\text{МС1}}$ (рис. 10.3) с соответствующей матрицей сложности

$$M(\Gamma_{\text{МС1}}) = \begin{array}{c|ccccccc} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 \\ \hline X_1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ X_2 & 1 & 4 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ X_3 & 1 & 1 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ X_4 & 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ X_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 1 & 1 \\ X_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 1 \\ X_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{array}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ если } E(x_i) \neq \{x_j\}, E^{-1}(x_i) \neq \{x_j\}; \\ 1, \text{ если } E(x_i) = \{x_j\}, E^{-1}(x_i) = \{x_j\}; \\ n, \text{ где } n - \text{число петель} \end{cases}$$

где

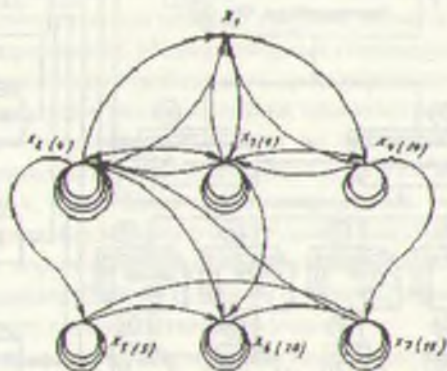


Рис. 10.3. Мультиграф отображения схемы набора ППМ

Числа на главной диагонали определяют количество петель при вершине, которое соответствует числу ППМ или БД. Числа, расположенные не на главной диагонали, отображают наличие прямых и обратных связей между ППМ и БД. Если каждому числу (или каждой единице числа) присвоить количественный показатель (например, требуемый объем памяти, время счета и т.п.), то возможна оценка предполагаемой структуры САПР РИ и, следовательно, последующий выбор параметров организационной структуры и технических средств.

10.2. Разработка проектных модулей и моделирование в проектировании режущих инструментов

Структура задач конструирования режущих инструментов, представленных на рисунке 10.2 набором ППМ, в общем виде не раскрывает содержания и направлений развития проектных модулей по конкретным направлениям. Целесообразно представить схему развития конструирования как автономную САПР конструирования РИ (рис. 10.4).

По данной схеме САПР конструирования задан в сочетании с САПР вспомогательного инструмента (САПР ВИ). При сочетании таких САПР возрастает надежность выбора оптимальной комбинации режущего и вспомогательного инструмента для заданного технологического процесса и, кроме того, расширяется информативность как САПР РИ, так и САПР ВИ.

Перечисление номенклатуры инструментов, диапазон их размеров, материал инструмента и другие параметры, т.е. краткая характеристика САПР РИ на каждый тип инструмента содержится в отдельных ППМ (блок 1, рис. 10.4) или на все инструменты, в целом, в одном ППМ.

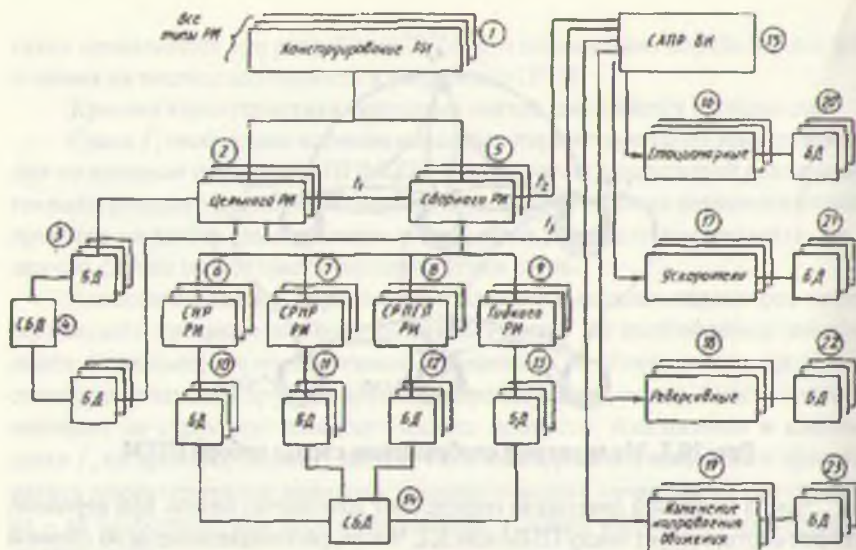


Рис. 10.4. Схема набора ППМ конструирования режущего инструмента

В блоке 2 сосредоточены ППМ на проектирование цельных режущих инструментов (САПР РИЦ). При разработке конкретных САПР РИ целесообразно объединять в группы сходные типы лезвийных инструментов (рис. 10.5), что позволяет использовать для них одни и те же проектно-расчетные модули.

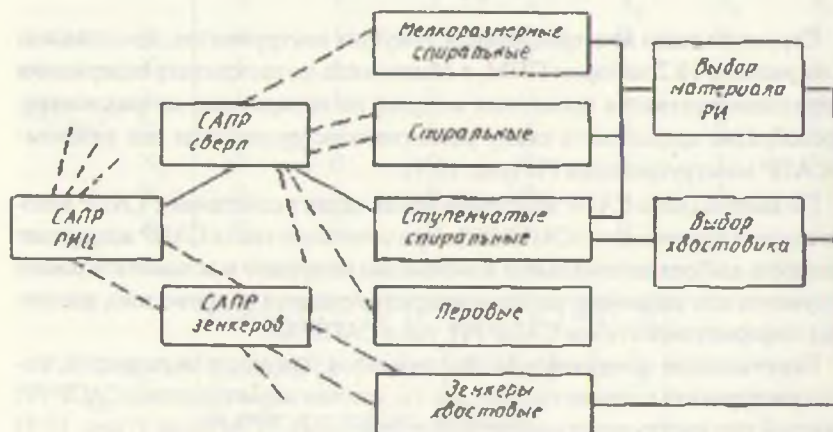


Рис. 10.5. Схема интеграции проектных модулей для осевой группы инструментов

В качестве примера можно выделить ППМ цельных сверл и зенкеров. Большой набор различных типов цельных сверл не позволяет установить единую методику проектирования. Мелкоразмерные спиральные сверла (диаметром 0,08 – 1,0 мм) имеют свои особенности проектирования, а ступенчатые и перовые не укладываются в рамки методики проектирования обычных спиральных сверл, однако одинаковые модули по выбору инструментального материала, назначению размеров хвостовиков и других параметров можно использовать для двух, трех и более типов инструментов.

При конструировании цельного инструмента пользуются банками данных стандартного и нормализованного инструмента (блок 3) с соответствующей системой баз данных (блок 4). В данном случае БД может быть общей для САПР РИ и некоторого производственного участка.

Системы проектирования сборного режущего инструмента (САПР РИС) функционируют как САПР узлов и деталей сборного режущего инструмента (блок 5).

Если задачей САПР РИЦ является проектирование одной детали, то САПР РИС предназначена для проектирования нескольких деталей (от двух и более) с последующей их компоновкой. Следовательно, САПР РИС по содержанию принципиально отличаются от САПР РИЦ и ППМ, предназначенные для проектирования цельного инструмента, непригодны для сборного.

Сборный инструмент имеет признаки гибкой конструкции. Целесообразно выделить ППМ на проектирование сборного инструмента, отличающегося по степени гибкости. В блоке 6 содержатся ППМ на проектирование сборного нерегулируемого инструмента; в блоке 7 – ППМ на проектирование инструмента, регулируемого на размер; в блоке 8 – ППМ на проектирование инструмента с регулированием по геометрическим параметрам; в блоке 9 – ППМ на проектирование инструмента, имеющего наивысший показатель гибкости. Каждый ППМ поддерживается БД (блоки 10 – 13), информационно объединенной в СБД (блок 14).

Характеристики ППМ на проектирование вспомогательного инструмента содержатся в блоке 15 с последующим разбиением ППМ на группы с учетом степени гибкости вспомогательного инструмента: оправки стационарные с переходниками (блок 16); оправки – ускорители, позволяющие увеличивать частоту вращения инструмента по отношению к частоте вращения шпинделя (блок 17); оправки реверсивные с изменением направления вращения на противоположное (блок 18); оправки с изменением направления движения под углом 90° (блок 19). Каждый ППМ информационно поддерживается базой данных (блоки 20 – 23).

Взаимодействие проектирующих систем между собой и степень их перекрытия друг другом по составляющим модулям зависят от задачи САПР РИ, типа инструмента, вида производства и других факторов. Каждая система может функционировать самостоятельно, однако по мере развития и расширения возможностей систем, а также их количественного накопления степень интеграции возрастает (рис. 10.6).

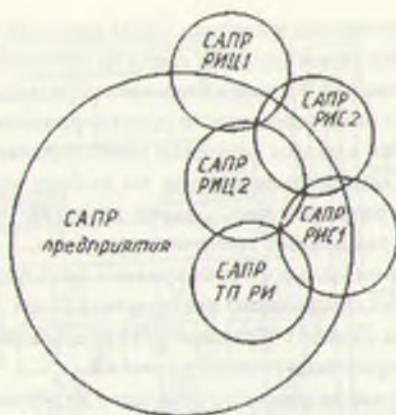


Рис. 10.6. Схема интеграции проектно – программных модулей САПР РИ

При решении задач автоматизации проектирования основные свойства и характеристики режущих инструментов описывают с помощью формальных математических модулей, обеспечивающих адекватность и сохраняющих наглядность и необходимую содержательность.

Основные требования, предъявляемые к математической модели: адекватность и простота представления исходного объекта, информационная сложность, т.е. возможность перехода от одной математической модели к другой, от объекта к модели и обратно, удовлетворение требований к объему памяти ЭВМ, простота обработки и наглядность.

Выбор варианта математической модели зависит от постановки задач и проектирования режущего инструмента. При оснащении технологического процесса инструмента возникают различные уровни решения задач проектирования: первый уровень – поиск требуемого типоразмера, второй – корректировка параметров нормализованного инструмента, третий – проектирование нового специального инструмента.

Рассмотрим формирование математических моделей при решении задач третьего уровня, так как он предполагает проектирование инструмента в полном объеме.

При анализе и синтезе конструкций инструмента при автоматическом проектировании определенные преимущества дают графовые модели, обладающие наглядностью и универсальностью и допускающие использование ЭВМ.

Любую конструкцию режущего инструмента можно представить в виде графа, показанного на рисунке 10.7.

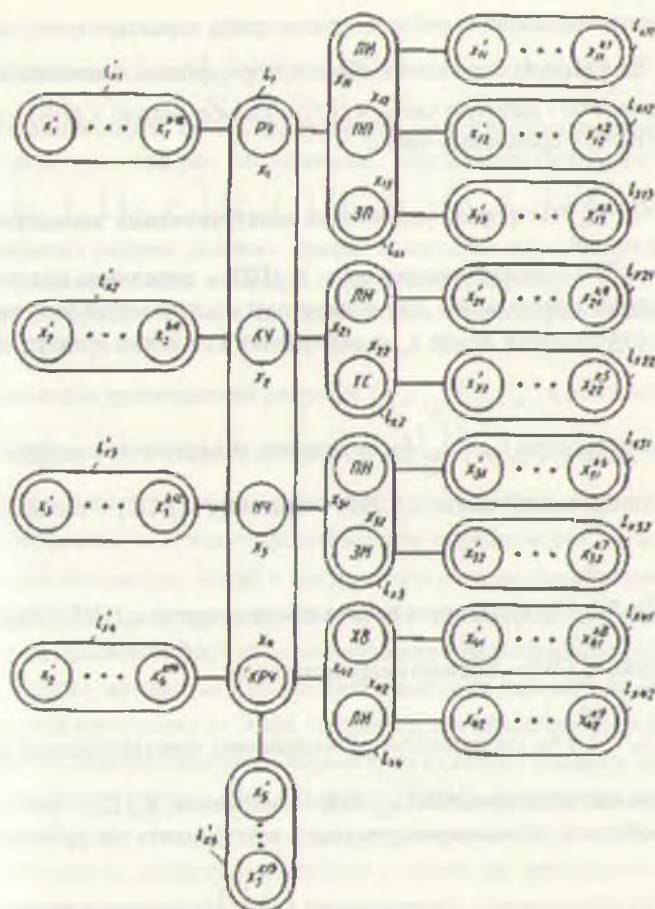


Рис. 10.7. Граф отображения конструкции инструмента

В данном графе $\Gamma_1 = (X, E)$ каждая вершина и ребро определяют часть конструкции инструмента, конструктивный элемент или параметры части конструкции или конструктивного элемента.

Ребро l_1 представляет подмножество множества вершин графа $l_1 \subseteq X$ и одновременно $l_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$. Если x_1, x_2 , в свою очередь, являются мно-

жествами, то $l_1 = \bigcup_{i=1}^n x_i$.

Предметная ориентация ребер и вершин графа характеризуется выражением $\Gamma_i = (x, E)$. Ребро l_i определяет область формирования основных частей инструмента: x_1 (РЧ) – рабочую часть, x_2 (КЧ) – калибрующую, x_3 (НЧ) – направляющую, x_4 (КРЧ) – крепежную часть.

Ребро $l_{x1} = \bigcup_{i=1}^{n_1} x_{1i}$ формирует область конструктивных элементов рабочей части: x_{11} (ЛИ) – лезвие инструмента, x_{12} (ПП) – переднюю поверхность, x_{13} (ЗП) – заднюю поверхность. Для конкретных инструментов этот перечень может быть расширен от x_{11} до x_{n_1} в зависимости от числа конструктивных элементов.

Аналогично, ребро $l_{x2} = \bigcup_{i=1}^{n_2} x_{2i}$ определяет объединение конструктивных элементов калибрующей части: x_{21} (ЛН) – ленточку, x_{22} (ТС) – торцевое сечение.

Ребро $l_{x3} = \bigcup_{i=1}^{n_3} x_{3i}$ формирует направляющие части: x_{31} (ПН) – переднюю направляющую, x_{32} (ЗН) – заднюю направляющую.

Ребро $l_{x4} = \bigcup_{i=1}^{n_4} x_{4i}$ соответствует объединению конструктивных элементов крепежной части инструмента: x_{41} (ХВ) – хвостовика, x_{42} (Ш) – шейки.

Таким образом, компоновка режущего инструмента на уровне основных его частей определяется объединением $l_i = \bigcup_{i=1}^n x_i$ на уровне конструктивных элементов

$$l_i = \bigcup_{i=1}^n l_{xi} = \bigcup_{i=1}^{n_1} x_{1i} \bigcup_{i=1}^{n_2} x_{2i} \bigcup_{i=1}^{n_3} x_{3i} \bigcup_{i=1}^{n_4} x_{4i}$$

Каждый конструктивный элемент характеризуется определенными линейными, угловыми размерами, числами зубьев и т. д. На графе это отображается ребрами $l_{x11}, l_{x12}, l_{x13}, l_{x21}, l_{x22}, l_{x31}, l_{x32}, l_{x41}, l_{x42}$, а каждое ребро определяет набор параметров, характеризующих конструктивный элемент инструмента. Например, передняя поверхность (ПП) x_{12} задается передним углом $\gamma(x_{12}^1)$, углом наклона винтовой передней поверхности $\omega(x_{12}^2)$, наличием подточки (x_{12}^3) и т. д.

Следовательно, $l_{x_{12}} = \bigcup_{i=1}^{k_2} x_{i12}^i$ где k_2 определяет число параметров.

Соподчиненность частей инструмента, конструктивных элементов и их параметров на графе обозначена вершинореберными связями $\{x_1, l_{x1}\}, \{x_2, l_{x2}\}, \{x_3, l_{x3}\}, \{x_4, l_{x4}\}, \{x_{11}, l_{x11}\}, \{x_{12}, l_{x12}\}$ и т. д., каждая из которых является ребром связного графа, множество вершин которого представлено подмножеством вершин и подмножеством ребер.

Некоторые параметры и свойства относятся непосредственно к какой-либо части инструмента или к инструменту, в целом. Область формирования этих параметров представлена ребрами $l_{x1}^1, l_{x2}^1, l_{x3}^1, l_{x4}^1$, а для инструмента в целом – ребром l_{x5}^1 . К таким параметрам могут относиться материал инструмента или его частей, покрытие, диаметральные размеры.

На основании анализа графовой модели определяются параметры конструктивных элементов, частей и инструмента в целом как объединение множеств этих параметров, представленных ребрами данного графа. В результате операции объединения формируется множество неповторяющихся параметров. Из данного множества производится выборка параметров, по которым проектируется инструмент на ЭВМ. Например, для цельного спирального сверла множество неповторяющихся параметров включает диаметр сверла d , его длину l , код инструментального материала (КИМ), геометрические параметры: передний угол γ , задний угол α , угол при вершине 2ϕ , угол наклона стружечной канавки ω , ширину f и глубину p ленточки, координаты торцевого сечения, параметры хвостовика.

Для определения каждого названного параметра необходимо сформировать исходные данные, которые определяют конструкцию режущего инструмента в целом.

Взаимосвязи исходных данных с параметрами сверла представим в виде графа $\Gamma_1 = (x, E)$, у которого x – множество вершин, E – множество ребер, причем, каждое ребро $l_i \in E$ представляет собой некоторое подмножество вершин $l_i \subseteq x$ (рис. 10.8).

Первая группа характеризует обрабатываемую деталь и определяет непосредственно связи между заготовкой и инструментом (ребро l_1). Каждая вершина ребра l_1 определяет: материал детали, его химические, физические и механические

свойства (вершина x_1), требования по шероховатости обрабатываемой поверхности (x_2), точность обрабатываемой детали (x_3), геометрическую форму обрабатываемой детали (x_4), метод получения заготовки детали (x_5), габаритные размеры детали и её массу (x_6), другие дополнительные данные (x_7).

Ребро графа l_1 является областью формирования исходных данных. Исходные данные разбиты на три группы.

Вторая группа относится непосредственно к самому инструменту (ребро l_2). Вершины ребра l_2 отображают: тип инструмента и особенности его конструкции (x_8), габаритные размеры инструмента (x_9), материал инструмента (x_{10}), характер производства инструмента (единичное, серийное) (x_{11}), требования к переточке инструмента (x_{12}), особенности термообработки и методы нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность инструмента (x_{13}), другие дополнительные данные (x_{14}).

Третья группа относится к условиям эксплуатации инструмента (ребро l_3). Вершины ребра l_3 описывают: режимы резания (x_{15}), характер производства деталей (x_{16}), виды СОЖ и способ подвода её в зону резания (x_{17}), регламентацию по стойкости инструмента (x_{18}), форму стружки и её отвод (x_{19}), вид оборудования, на котором предполагается использование инструмента и его мощность (x_{20}), другие дополнительные данные (x_{21}).

Параметры инструмента формируются в области ребра l_2 , где вершины $x_{22}-x_{31}$ индексируют данные параметры.

Дуги графа (l_1, l_2) , (l_3, l_2) , (l_4, l_2) , (l_3, l_2) фиксируют прямые связи между исходными данными и параметрами инструмента, а (l_2, l_1) , (l_2, l_3) , (l_2, l_4) , (l_2, l_3) – обратные связи. В этом случае ребра графа играют роль вершин.

Одна из сложных задач при проектировании инструмента – определение числа исходных данных и степени их влияния на каждый параметр.

В качестве примера на графе $\Gamma_2=(x, E)$ обозначены дуги (x_1, x_{24}) , (x_9, x_{24}) , (x_{15}, x_{24}) , (x_{16}, x_{24}) , (x_{20}, x_{24}) , указывающие на зависимость выбора инструментальной стали от материала детали (x_1), габаритов инструмента (x_9), скорости резания (x_{15}), серийности производства (x_{16}), состояния оборудования (x_{20}). На выбор инструментального материала влияют исходные данные, принадлежащие всем трем группам (ребра l_1 , l_4 , l_3), а также параметры инструмента, ранее определенные (x_{22}).

Таким образом, при расчете любого параметра инструмента используются исходные данные и результаты расчета предшествующих параметров в структуре графа $\Gamma_3=(x, E)$ в соответствии с построенным алгоритмом решения задачи.

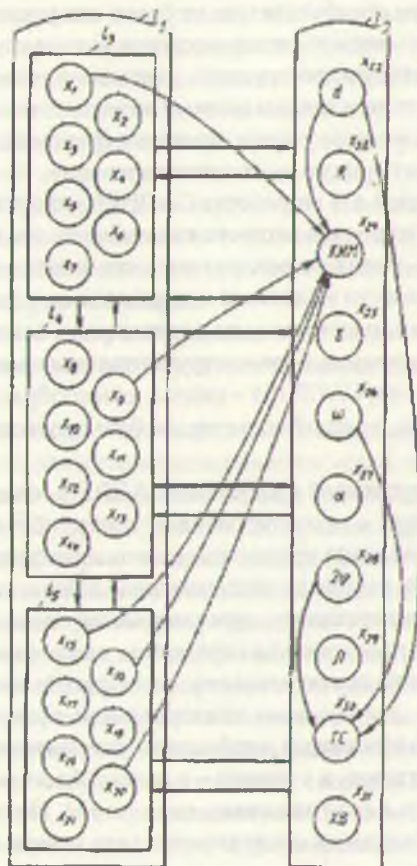


Рис.10.8. Граф отображения исходных данных на проектирование инструмента

10.3. САПР спиральных сверл

Спиральные сверла применяются для обработки отверстий диаметром до 100 мм, причем, длина отверстия не должна превышать величины $10D$, где D — диаметр отверстия.

Основные размеры спиральных сверл стандартизованы.

Однако в реальных условиях не всегда удастся выполнить рекомендации стандартов по тому или иному конструктивному параметру сверла, что связано с многообразием форм и конструкцией обрабатываемых деталей. Например, выбрать диаметр сверла из рекомендательного ряда, если получаемое отвер-

ствие в дальнейшем обрабатываться не будет, или увеличить длину шейки при наличии у обрабатываемой детали выступов. В этом случае необходимо проектировать оригинальную конструкцию, учитывающую все особенности детали, условия эксплуатации и накладываемые на элементы сверла ограничения.

Рассмотрим методику проектирования оригинальных спиральных сверл в условиях автоматизированного проектирования.

Исходной базой для разработки САПР РИ – сверло является граф, основные принципы построения которого изложены выше. На основе анализа графа можно сделать вывод о самостоятельности отдельных этапов проектирования и целесообразности выделения их в отдельные подсистемы. К ним можно отнести, например, подсистему по определению основных конструктивных элементов, подсистему выбора инструментального материала и др.

Следовательно, САПР РИ – сверло целесообразно представить в виде отдельных блоков, каждый из которых будет функционировать в системе самостоятельно.

В состав укрупненной блок-схемы САПР РИ – сверло (рис. 10.9) помимо модулей, связанных с проектированием инструмента, входят и сервисные модули, необходимые для организации вычислительного процесса и удобства работы с системой, например, ввод исходных данных и их контроль.

При автоматизированном проектировании спиральных сверл в качестве исходных данных принимаются параметры, выявленные на начальном этапе разработки методики проектирования при вскрытии внешних связей. Причем, с одной стороны, для создания универсальной системы и получения оптимальной конструкции сверла необходимо стремиться к расширению числа учитываемых факторов, а с другой – с целью облегчения работы с системой следует уменьшать число вводимых параметров. Поэтому оптимальным является набор необходимых и достаточных (для заданных условий работы системы) параметров.

Исходными параметрами при автоматизированном проектировании спиральных сверл являются: D – номинальный диаметр отверстия, мм., HO – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия, мм (с учетом знака), BO – верхнее предельное отклонение диаметра отверстия, мм (с учетом знака), l_c – длина сверления, $КОМ_i$ – код обрабатываемого материала детали, $НК$ – наличие корки, окарины или альфированного слоя у титановых сплавов ($НК=1$ при наличии корки, окарины, $НК=0$ при их отсутствии), $ЖСПИД$ – жесткость системы СПИД ($ЖСПИД=0$ при пониженной жесткости, $ЖСПИД=1$ при нормальной жесткости, $ЖСПИД=2$ при повышенной жесткости), v – скорость резания ($v=1$ при обычной скорости, $v=2$ при повышенной скорости), $СИЗГ$ – способ изготовления сверла (фрезерованием – $СИЗГ=1$, прокатом – $СИЗГ=2$, вышлифовкой – $СИЗГ=3$, литьем – $СИЗГ=4$), $МП$ – масштаб производства обрабатываемой детали ($МП=1$ – единичное и мелкосерийное, $МП=2$ – среднесерий-

ное, МП=3 – крупносерийное и массовое), АО – автоматизация оборудования, на котором будет производиться сверление (АО=1 – обычные станки, АО=2 – автоматы, автоматические линии, станки с ЧПУ), КТС – код типа стружки, n_T – количество точек торцевого сечения сверла и др.

В качестве исходного параметра выступает также условно-постоянная информация, к которой относятся: таблица по выбору инструментального материала и таблица коэффициентов и параметров, зависящих от обрабатываемого материала. Условно-постоянная информация должна храниться на магнитном диске или магнитной ленте и в нужный момент вызываться в ту или иную точку программы расчета сверла.

Для осуществления контроля правильности введенных параметров и оформления документации по расчету сверла исходные данные выводятся на печать.

Поскольку программа расчета сверла имеет определенную область применения, ограниченную допустимыми значениями исходных данных (например, диаметр отверстия D не должен быть больше 100 мм, а длина сверления l_c не должна превышать $10D$), то необходима проверка исходных данных.

Назначение блока проверки исходных данных (блок 3) заключается в том, чтобы определить, принадлежат ли введенные данные области допустимых значений. Если все параметры введены правильно, то выполнение программы продолжается. В противном случае, на видеотерминал выдается диагностическое сообщение о необходимости проверки той или иной введенной величины, а выполнение программы приостанавливается до её исправления.

Анализ внешних связей, т.е. действующих факторов, показывает, что многие геометрические и конструктивные элементы сверла зависят от материала обрабатываемых деталей. Это обуславливает необходимость считать в качестве первоочередной задачи разработку и формирование обширного банка исходных данных по обрабатываемому материалу.

От физико-механических свойств обрабатываемого материала зависят такие геометрические параметры сверл, как угол в плане ϕ , угол наклона стружечных канавок ω , задний угол и др. В имеющейся литературе по сверлам и методикам их проектирования нет формализованных зависимостей в виде математических формул между свойствами обрабатываемого материала и значениями геометрических параметров инструмента. Эти связи между ними лгутся в форме табличных рекомендаций, позволяющих назначить значения геометрических параметров для обработки деталей из различных широко распространенных материалов.

На основе имеющихся в литературе данных не представляется возможным установить достаточно точное соответствие между значениями углов 2ϕ и значениями различных параметров, характеризующих физико-механические свойства обрабатываемого материала, так как очень часто эти соответ-



Рис. 10.9. Обобщенная блок-схема проектирования сверла

ствия приводятся для довольно широкого диапазона значений параметров. Например, для обработки мягкой и никелевой стали (с 3,5 Ni) в широком диапазоне твердости (HRCJ32) угол 2ϕ принимается равным 118° .

Если исключить из рассмотрения резко выделяющиеся или широко рекомендуемые значения параметров, как этого требуют статистические методы обработки экспериментальных данных, то количество информационных материалов оказывается недостаточно, чтобы с помощью регрессионного анализа получить функциональные зависимости для искомых параметров в виде аналитических выражений.

Аналогичная ситуация сложилась и с зависимостью от обрабатываемого материала и других параметров – заднего угла, угла наклона винтовых стружечных канавок.

Из вышеизложенного следует, что установить точно детерминированные функциональные связи геометрических параметров с обрабатываемым материалом в виде аналитических зависимостей не представляется возможным. Поэтому формализацию этих связей целесообразно выполнять на основе разра-

ботки информационного массива данных по обрабатываемым материалам в виде многогранговой матрицы. Матрица состоит из I строк и K столбцов. Число строк определяется количеством соответствующих этим материалам различных параметров и характеристик. Эта матрица – таблица взаимно однозначного соответствия – должна содержать в себе не только информацию о назначении геометрических параметров сверл, но и определение других параметров, например, характеризующих физико-механические свойства обрабатываемого материала, которые требуются для всей системы проектирования сверл.

При формировании общей структуры матрицы необходимо предусматривать возможность её последующего постоянного пополнения как в части расширения количества обрабатываемых материалов, так и в части накопления по ним другой информации, необходимой для проектирования специальных конструкций сверл. Построение САПР сверла, работающей в диалоговом режиме, позволяет, таким образом, развивать и накапливать банк исходных данных по обрабатываемым материалам.

С учетом вышеизложенного составляется карта выбора оптимальной марки инструментального материала по форме таблицы 10.1. Заполнение таблицы 10.1 производится на основании справочных материалов, нормалей, данных заводов и экспериментальных данных. В таблице 10.2 введены обозначения, число вариантов и диапазон баллов.

Число марок обрабатываемых материалов лежит в пределах от 10 до 200. Если карты выбора составляются для конкретного предприятия, то и число марок следует ограничить с учетом потребностей данного предприятия. Применение марки инструментальной стали для обработки материалов различных видов оценивается по шестибальной системе – А, 1, 2, 3, 4, 5, 6. Индексу А присваивается число – 60 ($A = -60$) и его наличие указывает на неприменяемость инструментальной стали для обработки данного материала детали.

Число вариантов по скорости резания (СР) принято 2 – нормальная и повышенная скорости резания с оценкой в баллах от 1 до 5.

Серийность производства предполагает три варианта – единичное, серийное, массовое с оценкой в баллах от 1 до 4.

Изготовление инструмента возможно четырьмя способами: фрезерованием канавок, прокаткой (накатыванием), штамповкой, литьем заготовки инструмента с оценкой в баллах от 1 до 3.

Жесткость станка принята нормальной, повышенной, высокой с оценкой от 1 до 3 баллов.

Автоматизация оборудования в двух вариантах означает – автоматизированное оборудование, неавтоматизированное оборудование.

Наличие инструментального материала на предприятии определяется коэффициентом K_B , и если $K_B = 0$, то марка не печатается и сумма баллов для нее не подсчитывается.

Пример определения марки инструментальной стали по карте выбора: КОМ – 1, СР – нормальная, СП – серийное, СИЗГ – фрезерование, Д=10, НК – нет, СЖ – повышенная жесткость, АО – неавтоматизированное, $K_3=1$.

Подсчет суммы баллов для каждой марки:

$$Y12A - 1+1+1+1+1+2+2=10$$

$$9XC - 2+2+2+2+1+1+2+1=13$$

$$P6M5 - 5+5+4+1+2+3+2+3=25$$

$$P12 - 4+4+3+1+2+2+2+2=20$$

$$P9 - 19$$

$$P18 - 16$$

$$P9K5 - 17$$

$$P9K10 - 13$$

$$P12\Phi3 - 16$$

$$P6M3\Phi3 - 18$$

Необходимо на печать выдавать шесть марок, имеющих наибольшую сумму баллов для того, чтобы технолог имел право выбирать.

Пример компоновки банка данных (БД) по материалам детали и инструментальным сталям показан в таблице 10.2.

Определение размера наружного диаметра сверла. Исходными параметрами при определении размера наружного диаметра сверла являются диаметр обрабатываемого отверстия D и его верхнее отклонение BO и нижнее отклонение HO , соответствующие качеству точности отверстия.

При расчете диаметра сверла d предполагается, что линия v – в номинального диаметра сверла (Рисунок 10.10) не должна выходить за пределы участка, ограниченного линиями 1 – 2 и 3 – 4.

Положение линии 1 – 2, устанавливающей верхнюю границу, определяется максимальной разбивкой отверстия P_{MAX} , вычисляемой по формуле

$$P_{MAX} = K_p \delta_o,$$

где K_p – коэффициент разбивки отверстия, принимаемый равным 0,5 или определяется экспериментально, δ_o – допуск на отверстие.

Линия 3 – 4 (линия нижней границы d) проходит по линии наименьшего допустимого диаметра отверстия.

Расчет наружного диаметра сверла выполняется в такой последовательности: максимально допустимый диаметр обрабатываемого отверстия определяется по формуле $D_{MAX} = D + BO$, минимально допустимый диаметр отверстия $D_{MIN} = D + HO$. Зная верхнее и нижнее отклонения, определяем допуск на диаметр отверстия.

Максимально допустимый диаметр сверла находят как разность между максимально допустимым диаметром отверстия и разбивкой, т.е.

$$d_{MAX} = D_{MAX} - P_{MAX}$$

Найденное значение d_{MAX} необходимо округлить до ближайшего меньше-

10.1. Данные для составления карты выбора оптимальной марки инструментального материала

Параметр	Обозначение	Число вариантов	Баллы
Обрабатываемый материал	КОМ	10-200	А, 1-5
Скорость резания	СР	2	1-5
Серийность производства	СП	3	1-4
Способ изготовления инструмента	СИЗГ	4	1-3
Диаметр инструмента	Д	3	1-3
Наличие марки	НК	2	1-3
Жёсткость станка	СЖ	3	1-3
Автоматизация оборудования	АО	2	1-3
Наличие инструментального материала	К _с	2	0,1

10.2. Компоненска Б/Д по материјалам

Мар- ка стали	КОМ				Факторы					
	Варианты				100	СР		СП		
	1	2	3	...		нормаль- ная	повы- шенная	единич- ное	серийное	
										массовое
У12М	1	1	А	...	...	1	А	4	1	А
9ХС	2	2	1	...	...	2	А	4	1	1
Р6М5	5	5	1	...	...	5	А	3	4	3
Р12	4	4	1	...	...	4	А	2	3	3
Р9	4	4	1	...	...	4	А	2	3	3
Р18	3	3	1	...	...	3	А	1	2	4
Р9К5	4	4	2	...	...	2	4	2	3	4
Р9К10	2	2	2	...	...	1	5	1	3	3
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										
.....										

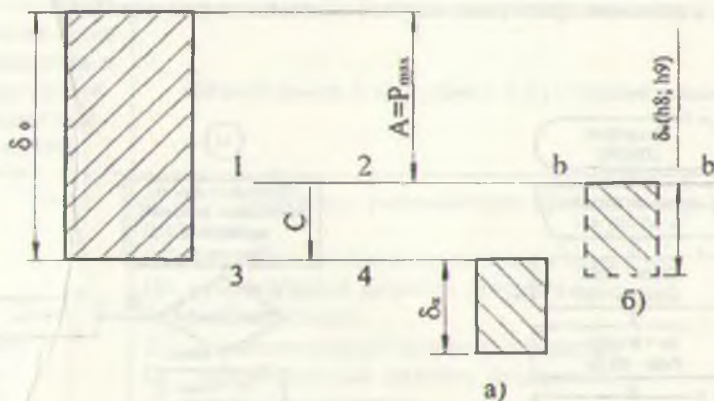


Рисунок 10.10. Схема определения номинального диаметра сверла

го по стандарту с учетом параметра кратности округления a_o . Величина a_o зависит от d_{MAX} , при $d_{MAX} \leq 3$ $a_o=0,05$; $3d_{MAX} \leq 14$ $a_o=0,1$; $14d_{MAX} \leq 32$ $a_o=0,25$; $32d_{MAX} \leq 51$ $a_o=0,5$; $d_{MAX} 51 \leq 100$ $a_o=1$.

Если округленное значение диаметра сверла удовлетворяет условию

$$d_{окр} \geq D_{MIN},$$

то принимают $d=d_{окр}$. В противном случае, повторяют округление d_{MAX} с новым параметром округления $a_i=0,5a_o$, причем, третий знак после запятой у a_i отбрасывается. Если после этого условие $d_{окр} \geq D_{MIN}$ выполняется, то принимают $d=d_{окр}$, в противном случае – $d=d_{MAX}$.

Допуск на наружный диаметр назначается по h9 или h8.

Назначение величины обратной конусности Δd по наружному диаметру на 100 мм длины осуществляется с учетом диаметра сверла: при $d \leq 2$ $\Delta d=0,01 \pm 0,025$; при $2d \leq 10$ $\Delta d=0,03 \pm 0,08$; при $10d \leq 18$ $\Delta d=0,05 \pm 0,1$; при $18d \leq 63$ $\Delta d=0,06 \pm 0,12$; при $63d \leq 100$ $\Delta d=0,1 \pm 0,2$.

На основании изложенной методики составляется блок-схема алгоритма определения диаметра спирального сверла (рис. 10.11).

Поскольку процедура расчета диаметра сверла является составной частью системы автоматизированного проектирования спиральных сверл, она оформлена в виде подпрограммы, которая вызывается из основной программы.

В результате работы подпрограммы получаем номинальный диаметр сверла d .

Вызов процедуры имеет вид: CALL DSVERL (D, BO, HO, KP, DM), где DSVERL – имя подпрограммы.

Текст подпрограммы по расчету диаметра сверла с учетом принятых обозначений (Таблица 10.3) приведен ниже. Описание её логики даны в таблице 10.4, а описание проектных модулей показаны на рисунке 10.12.

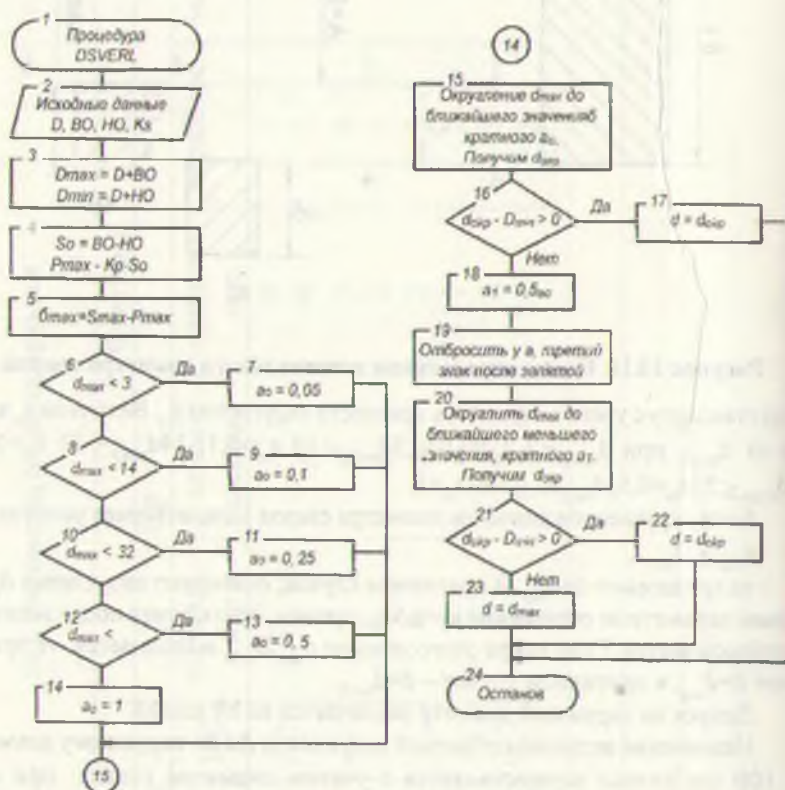


Рисунок 10.11. Блок-схема определения номинального диаметра сверла

10.3. Параметры, используемые при определении диаметра спиральных сверл

Обозначение параметра в программе (идентификатор)	Обозначение в методике и его наименование
AM, AN1	a_0, a_1 - параметры, указывающие кратность округления диаметра
BO	BO - верхнее отклонение диаметра отверстия
D	D - номинальный диаметр отверстия
DM	d - диаметр сверла
DMAX	D_{MAX} - максимальный диаметр отверстия
DMIN	D_{MIN} - минимальный диаметр отверстия
DEO	δ_0 - допуск на отверстие
PMAX	P_{MAX} - максимальная разбивка отверстия
DMMAX	d_{MAX} - максимально допустимый диаметр сверла
DMOKP	d_{OKP} - округленное значение d_{MAX} (с учётом a_0 или a_1)
HO	HO - нижнее отклонение диаметра отверстия
KP	K_p - коэффициент разбивки отверстия

10.4. Логика процедуры определения диаметра сверла

Номера операторов	Функция
1	Заголовок процедуры
2	Описание переменной
3-4	Определение максимального D_{MAX} и минимального D_{MIN} диаметров отверстия
5	Определение допуска на отверстие δ_0
6-7	Расчет максимального диаметра сверла d_{MAX} исходя из максимальной разбивки отверстия P_{MAX}
8-20	Определение параметра кратности округления a_0
21	Округление d_{MAX} с учётом a_0
22	Если $d_{OKP} > D_{MIN}$, то переходим к оператору 23, в противном случае - к оператору 25
23-24	Определение диаметра сверла d и выход из процедуры
25-26	Определение нового параметра кратности округления a_1
27	Округление диаметра сверла в зависимости от выполнения условия $d_{OKP} > D_{MIN}$
33	Возврат в основную процедуру

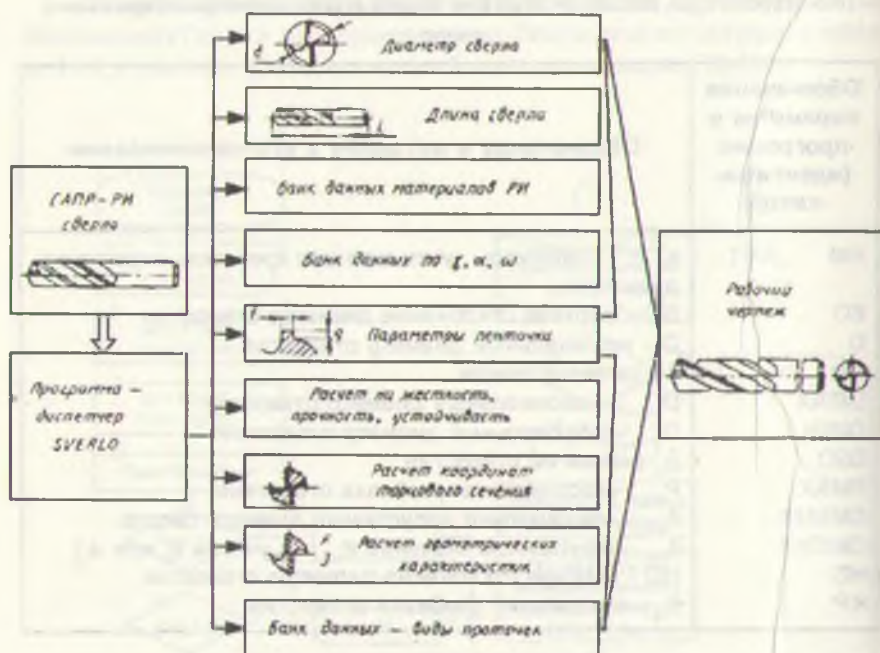


Рисунок 10.12. Состав основных проектных модулей САПР РИ—сверла.

Подпрограмма расчета номинального диаметра сверла

SUBROUTINE DSVERL (DM)

REAL KP

TYPE *, 'РАСЧЕТ ДИАМЕТРА СВЕРЛА:'

1 TYPE *, 'ВВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ

ОБРАБАТЫВАЕМОГО

ОТВЕРСТИЯ D, ВО, НО'

TYPE 2

2 FORMAT (10X, 'D=', S)

ACCEPT *, D

```

IF (D.GT.0.0.AND.D.LE.100.) GOTO 3
TYPE *, ' ДИАМЕТР ОТВЕРСТИЯ ВЫХОДИТ ЗА
    ПРЕДЕЛЫ
    ДОПУСТИМЫХ * ЗНАЧЕНИЙ'
GOTO 1
3 TYPE 4
4 FORMAT (10X, ' BO=', 4)
    АССЕРТ *, BO
    TYPE 5
5 FORMAT (10X, ' HO=' $)
    АССЕРТ *, HO
    WRITE (12,6) D
6 FORMAT (' ДИАМЕТР ОБРАБАТЫВАЕМОГО
    ОТВЕРСТИЯ', N36, ' D=', F8.3)
    WRITE (12,7) BO
7 FORMAT (T14, ' - ВЕРХНЕЕ ОТКЛОНЕНИЕ', T36, ' BO=',
    F6.4)
    WRITE (12,8) HO
8 FORMAT (T14, ' - НИЖНЕЕ ОТКЛОНЕНИЕ', T36, ' HO='
    F6.4)
    TYPE *, ' ВВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗБИВКИ
    ОТВЕРСТИЯ - KP'
    TYPE 9
9 FORMAT (10X, ' KP=', $)
    АССЕРТ 10, KP
10 FORMAT (F8.4)
    IF (KP) 11, 11, 12
11 KP=. 75
12 WRITE (12, 13) KP
13 FORMAT (' КОЭФФИЦИЕНТ РАЗБИВКИ
    ОТВЕРСТИЯ', T36, ' KP=', F6.4)
14 DMAX=D+BO
    DMIN=D+HO
    DEO=BO-HO

```

```

PNAX=KP*DEO
DMMAX=DMAX-PMAX
  IF (DMMAX-3.) 19, 19, 15
15  IF (DMMAX-14.) 20, 20, 16
16  IF (DMMAX-32.) 21, 21, 17
17  IF (DMMAX-51.) 22, 22, 18
18  AMØ=1.
    GOTO 23
19  AMØ=0.05
    GOTO23
20  AMØ=0.1
    GOTO23
21  AMØ=0.25
    GOTO
22  AMØ=0.5
23  DMOKR=AINT (DMMAX/AMØ)*AMØ
    IF (DMOKR-DMIN) 26, 24, 24
24  DM=DMOKR
    DM=AINT (DM*100.)/100.
    RETURN
25  AM 1=0.5*AMØ
    AM 1=AINT (AM 1*100.)/100.
    DMOKR=AINT (DMMAX/AM 1)*AM 1
    IF (DMOKR-DMIN) 30, 28, 28
26  DM=DMOKR
    DM=AINT (DM*100.)/100.
    RETURN
27  DM=DMMAX
    DM=AINT (DM*100.)/100.
    RETURN
    END

```

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные составляющие организационной структуры САПР режущего инструмента.
2. Какие задачи решают проектирующие подсистемы САПР режущего инструмента?
3. От каких факторов зависит степень интеграции элементов САПР для однотипных режущих элементов?
4. Поясните принцип модульного построения пакетов прикладных программ на примере автоматизированного проектирования ценных сверл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированное проектирование металлорежущего инструмента/ В. А. Гречишников, Г. Н. Кирсанов, А.В. Катаев и др. М., Мос-
станкин, 1984. 107с.
2. Верещака А. С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими
покрытиями. М., Машиностроение, 1986. 190 с.
3. Горанский Г.К., Бендерова Э.И. Технологическое проектирование в
комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.,
Машиностроение, 1981. 456 с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М., Высшая школа,
1986. 304с.
5. Гречишников В.А., Орлов В.Ф., Щербаков В.Н. Основные положения и
рекомендации по проектированию и изготовлению металлорежущего
инструмента в условиях единичного, мелкосерийного производства. М., НИАТ.
1984. 43 с.
6. Гречишников В.А., Маслов А.Р., Соломенцев Ю.М., Схиртладзе А.Г.
Инструментальное обеспечение автоматизированного производства. М.,
Высшая школа, 2001. 272 с.
7. Турин М.Ф. Турин В.Ф. Перспективные инструментальные материалы. М.,
Машиностроение, 1984. 62 с.
8. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов М.,
Машиностроение, 1984. 270 с.
9. Калашников С.Н., Калашников А.С. Зубчатые колеса и их изготовление. М.,
Машиностроение, 1983. 264 с.
10. С.Ковальчук Ю.М. Основы проектирования и технология изготовления
абразивного и алмазного инструмента. М., Машиностроение, 1981. 136с.
11. Н.Кудевицкий Я.В. Фасонные фрезы. Л., Машиностроение, 1978. 171с.
12. Кузнецов Ю.И., Маслов Д.Р., Банков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ
Справочник. М., Машиностроение, 1983. 359 с.
13. Лапшев С.И., Юликов М.И. Расчёт и конструирование металлорежущих
инструментов с применением ЭВМ. М., Машиностроение, 1975. 391с.
14. Н.Лурье Г.Б. Наладка и подналадка режущего инструмента на размер. М.,
Высшая школа, 1981. 80 с.
15. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ/ П.И.
Яшерицын, Б.И. Сеницын, Н.И. Жигалко и др. Минск, Высшейшая школа,
1979. 304 с.
16. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.И.
Ашихмин и др. М., Машиностроение, 1986. 230 с. 17. Программирование
обработки на станках с ЧПУ. Справочник / Гжи-ров Р.И. и др. М.,
Машиностроение. 1990. 295.

18. Режущие инструменты, оснащённые сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение. Справочник / В.П. Жедь, Г.В. Боровский, Я.А. Музыкант, и др. М., Машиностроение, 1987. 320 с.
19. 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.
20. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. Киев. Вища школа, 1979. 431 с.
21. 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.
22. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др., Л., Машиностроение, 1987. 846 с.
23. Справочник технолога-машиностроителя 4-е изд. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М., Машиностроение, 1985. Т. 1. 656 с.
24. Справочник конструктора инструментальщика / Под ред. Баранчиков В.И. и др. М., Машиностроение. 1994.
25. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. Л., Машиностроение, 1981. 173 с.
26. Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки, М., Машиностроение, 1987. 343 с.
27. Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента. М., Машиностроение, 1987. 296 с.

Содержание

Введение	3
Глава 1. Инструментальные материалы	
1.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам	5
1.2. Углеродистые инструментальные стали	8
1.3. Легированные инструментальные стали	9
1.4. Быстрорежущие инструментальные стали	10
1.5. Твердые сплавы	13
1.6. Минералокерамика	16
1.7. Природные и синтетические алмазы	19
1.8. Сверхтвердые материалы	20
1.9. Абразивные материалы	20
1.10. Основные пути и методы повышения качества режущих инструментов	22
Глава 2. Резцы	
2.1. Назначение и основные типы	26
2.2. Резцы из быстрорежущей стали	29
2.3. Твердосплавные резцы	31
2.4. Резцы с механическим креплением пластин	35
2.5. Алмазные резцы	38
2.6. Резцы, оснащенные сверхтвердыми материалами	40
2.7. Строгальные и долбежные резцы	43
2.8. Фасонные резцы	44
Глава 3. Режущие инструменты для обработки отверстий	
3.1. Назначение и основные типы сверл	57
3.2. Конструктивные особенности твердосплавных сверл	64
3.3. Сверла для глубокого сверления	67
3.4. Зенкеры	74
3.5. Развертки	82
3.6. Комбинированные инструменты для обработки отверстий	88
Глава 4. Протяжки	
4.1. Назначение и основные типы	94
4.2. Конструкция протяжек	96
4.3. Расчет протяжек	103

4.4. Особенности наружных протяжек	110
Глава 5. Фрезы	
5.1. Назначение и типы фрез	116
5.2. Конструктивные элементы фрез с острозаточенными зубьями	118
5.3. Конструктивные особенности различных типов фрез	123
5.4. Фасонные фрезы	133
Глава 6. Инструменты для изготовления резьб	
6.1. Резьбонарезной инструмент	141
6.2. Метчики	143
6.3. Плашки	153
6.4. Резьбонарезные фрезы	157
6.5. Инструменты для накатывания резьбы	160
Глава 7. Зуборезные инструменты	
7.1. Зуборезные инструменты, работающие с профилированием методом копирования	166
7.2. Зуборезные инструменты, работающие с профилированием методом обкатки	173
7.3. Зубострогальные гребенки	179
7.4. Зуборезные долбяки	183
7.5. Червячные зуборезные фрезы	192
7.6. Инструменты для нарезания конических колес	205
7.7. Инструменты для чистовой обработки зубчатых колес	215
Глава 8. Абразивные инструменты	
8.1. Разновидности и назначение	227
8.2. Характеристики абразивных инструментов	233
8.3. Крепление шлифовальных инструментов	239
8.4. Правка шлифовальных кругов	242
Глава 9. Инструмент для станков с программным управлением	
9.1. Общие сведения	250
Глава 10. Автоматизированное проектирование режущих инструментов	
10.1. Основные понятия и определения	273
10.2. Разработка проектных модулей и моделирование в проектировании режущих инструментов	277
10.3. САПР спиральных сверл	285
Список литературы	300

Камал Бекмуротович Усманов

Проектирование режущих инструментов

Введение

Глава 1.

1.1. Требо

матер

1.2. Углер

1.3. Леги

1.4. Быс

1.5. Твер

1.6. Ми

1.7. При

1.8. Све

1.9. Аб

1.10. Ос

реж

Глава

2.1. На

2.2. Рез

2.3. Тв

2.4. Ре

2.5. Ал

2.6. Ре

2.7. С

2.8. Ф

Глава

3.1. Н

3.2. К

3.3. С

3.4. '

3.5.

3.6.

Гла

4.1.

4.2.

4.3.

Издательство «Akademiya»

Ташкент 2005

Редактор Д.Кабулова

Дизайнер Р.Султанов

Корректор Д.Кабулова

Тех.редакторы Р.Султанов, Н.Курбанова

Ответственный за выпуск Б.Умаров

Сдано в набор 24.11.05. Подписано к печати 28.12.05.

Формат 60х90¹/8. Гарнитура Таймс. Офсетная печать. Усл.п.л.

19.0. Изд.п.л. 19.0. Тираж 500. Цена договорная.

Отпечатано в типографии ООО «Сано-Стандарт».

г. Ташкент, ул. Ширак, 100.

