

Зубообрабатывающие станки

Согласно принятой в отечественном станкостроении классификации металлорежущих станков каждая модель станка обозначается шифром, состоящим из нескольких цифр в сочетании с буквами. Первая цифра шифра обозначает группу, к которой относится станок. Так, зубообрабатывающие станки относятся к 5-й группе, поэтому первой цифрой в шифре зубообрабатывающих станков является цифра 5. Вторая цифра в шифре станка характеризует его тип.

Группа зубообрабатывающих станков подразделяется на девять типов: 1 - зубодолбежные и зубострогальные станки для обработки цилиндрических колес; 2 - зубострогальные и зуборезные станки для конических колес; 3 - зубофрезерные станки для цилиндрических и червячных колес; 4 - зубофрезерные станки для червячных колес; 5 - станки для обработки торцов зубьев (зубозакругляющие, зубофасочные); 6 - резьбообрабатывающие станки (для обработки червяков); 7-зубоотделочные (шевинговальные, зубопритирочные), контрольно-обкатные и обкатные станки; 8 - зубошлифовальные станки; 9 - зубохонинговальные и другие зубообрабатывающие станки.

Буква, стоящая после первой цифры шифра, указывает на то, что данная модель станка модернизирована. Последняя буква шифра обозначает, что данная модель является модернизацией базовой модели и имеет специальные изменения для выполнения определенных работ.

В зависимости от уровня точности нарезаемых зубчатых колес станки разделены на следующие классы точности: Н - нормальной точности; П - повышенной точности; В - высокой точности; А - особо высокой точности; С - особо точный.

Цилиндрические зубчатые колеса можно изготавливать 6-8-й степени точности - на станках нормальной точности, 3-4-й степени - на станках повышенной точности, червячные колеса - на станках свыше 3-й степени точности.

^ Назначение, классификация и область применения. Пятая группа станков включает все многообразие [зубообрабатывающих станков](#), а также специальные [резьбообрабатывающие станки](#). Для обработки зубьев колес используются [фрезерование](#), строгание, долбление, протягивание, точение, шлифование и другие технологические методы, что обычно отражается в названии **станка**.

В основу классификации [зубообрабатывающих станков](#) положены вид зубчатого колеса, технологический метод резания, назначение обработки (образование зубьев, их отделка) и ряд других признаков. Приведем основные типы **станков** для обработки зубьев в соответствии с классификацией ЭНИМС.

1. Зубодолбежные станки для обработки по методу обкатки зуборезным долбяком цилиндрических колес, а также зубчатых секторов внутреннего и внешнего зацепления с прямым, косым или винтовым зубом. Они отнесены к первому типу. Это мод. 5107, 5В150, 511.1 и другие полуавтоматические **станки**. В парке зуборезных **станков** они составляют более 20%

2. Ко второму типу относятся зуборезные станки для обработки конических колес. По методу обкатки зуборезной головкой обрабатываются круговые зубья на **станках** мод. 525, 5Б231 и др. Прямозубые колеса получают на **зубострогальных станках** мод. 5А250, 5282, 5А283 и др.

По методу кругового протягивания каждой впадины работает зубопротяжный **станок** мод. 5245 для обработки конических прямозубых колес в условиях массового производства. Зубофрезерные **станки** мод. 5П23, 5230 и др. применяют для обработки двумя дисковыми фрезами конических прямозубых колес по методу обкатки. За один цикл обрабатываются обе стороны профиля зуба модулем до 8 мм.

3. Зубофрезерные станки для обработки по методу обкатки червячной фрезой цилиндрических прямозубых и косозубых колес, червячных колес в условиях единичного, серийного и массового производства. Они относятся к третьему типу и составляют около 50% зуборезного оборудования. К ним относятся мод. 530П, 5К32, 5А342, 5300 и др. На некоторых моделях можно работать и пальцевыми модульными фрезами по методу копирования, обрабатывая шевронные зубья. Согласно специфике процесса нарезания эти **станки** относятся к полуавтоматическим. На **станках** этого типа нарезаются шлицы на валах, так же как на обычных зуборезных и специальных **шлицефрезерных станках** (мод. 5350, 5350Б и др.).

4. Зубофрезерные станки для обработки червячных колес работают только по методу обкатки. Как и **станки** для обработки реек, их относят к четвертому типу (хотя **станки** для обработки реек могут работать как фрезой по методу копирования, так и зуборезным долбяком). Примером **станков** этого типа являются мод. 5412, 5414 и др.

5. **Станки для обработки торцов зубьев** относятся к пятому типу и позволяют обрабатывать фаски, снимать заусенцы или закруглять торцы зубьев. К этим **станкам** относятся мод. 5525, 5Н580, 5А580 и др.

6. Шестой тип **станков** пятой группы включает **резьбообрабатывающие станки**, например мод. 5К63 и др.

7. **Зубоотделочные станки** относятся к седьмому типу **зубообрабатывающих станков**. Это **зубошеввинговальные станки** (мод. 5702, 5717 и др.), **зубопритирочные** (мод. 5П725) и др. Сюда же относятся **контрольно-обкатные станки** мод. 5А725, 5А726, 5Б725 и др. для контроля пятна контакта, бокового зазора и уровня шума.

8. **Зубо- и резьбошлифовальные станки** относятся к восьмому типу. К нему также относятся **станки** для шлифования цилиндрических колес мод. 5В830, 5891, 5831 и др.

9. К девятому типу относятся **разные зубо- и резьбообрабатывающие станки**, например **зубохонинговальные** (мод. 5913) и т. и.

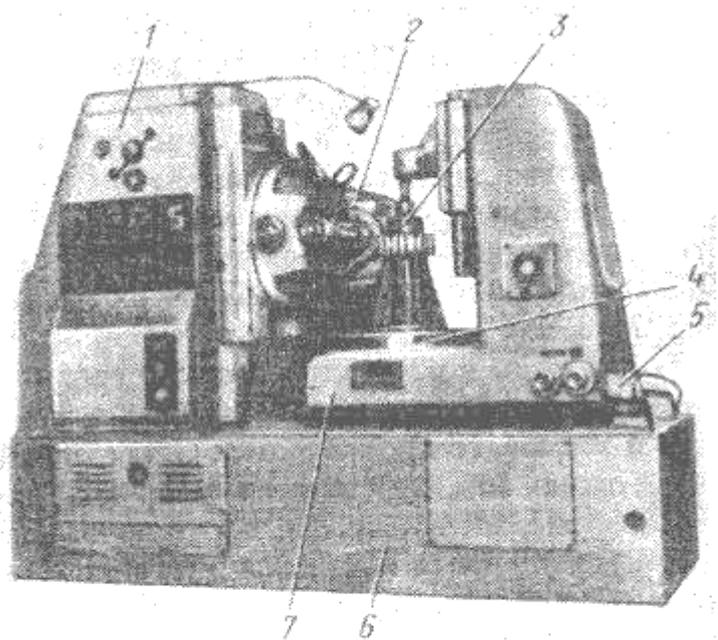


Рис. 214. Зубофрезерный станок

Зубофрезерные станки. Рабочие движения зубофрезерного станка (рис. 214) сообщаются инструменту и заготовке. Движение резания осуществляет червячная фреза, закрепляемая на шпинделе фрезерного суппорта 2. Стол 4 станка с оправкой В для заготовки получает вращательное движение, согласованное с вращением червячной фрезы. Эти движения обкаточные, они воспроизводят движение зубчатой пары, положенной в основу конструкции станка: рейка — колесо или червяк — колесо. В зависимости от вида нарезаемого колеса движение подачи сообщается заготовке или фрезе. Так, при нарезании цилиндрических, колес фрезерный суппорт по направляющим стойки 1 перемещается вертикально и постепенно нарезает зубья по всей ширине обода колеса на полную высоту зуба или на часть ее (при больших модулях). При нарезании червячного колеса методом радиальной подачи эта подача осуществляется салазками 7 с вращающимся столом, перемещающимся по горизонтальным направляющим 5 станины 6. При нарезании червячного колеса методом тангенциальной подачи это движение получает фреза, перемещающаяся по направляющим фрезерного суппорта (осевая подача фрезы).

Двигатель зубофрезерного станка может обслуживать все рабочие и вспомогательные перемещения. Однако имеются станки, в которых, помимо электродвигателя рабочих движений, есть двигатели гидропривода, быстрого хода станка, периодического осевого перемещения инструмента для равномерного износа фрезы, насоса охлаждения и т. п.

Несущая система станка обеспечивает неизменность или точность выдерживания межосевого расстояния между осью фрезы и осью заготовки. Станина 6 станка имеет горизонтальные направляющие 5 для перемещения салазок со столом или (в других конструкциях) вертикальной стойки с фрезерным суппортом. Суппорт позволяет поворачивать фрезерный шпиндель на угол до $\pm 60^\circ$ при нарезании, левых, или правых колес с косым зубом.

Передаточные механизмы движения резания включают ременные, зубчатые конические и цилиндрические передачи, Передаточные механизмы движения подачи и обкатки состоят из зубчатых конических и цилиндрических передач и из червячной пары, приводящей во вращение стол. В качестве суммирующего механизма применяется конический дифференциал. В цепях движения резания и подачи имеются гитары сменных колес для настройки кинематических цепей подач, скоростей, обкатки (деления) и дифференциальной цепи.

Исполнительный механизм (шпиндель фрезерного суппорта) приводится во вращение от цилиндрической косозубой зубчатой передачи; перемещение фрезы при вертикальной и осевой подачах осуществляется винтовыми механизмами. Исполнительный механизм, вращающий заготовку со столом и

оправкой, представляет собой обычно червячную пару высокой точности; горизонтальная подача стола на салазках осуществляется винтовой парой.

Система управления **станком** состоит из кнопочной станции, управляющей электродвигателями, и рукояток для наладки **станка** на конкретную заготовку (обеспечение межосевого расстояния между фрезой и заготовкой, место для вертикального расположения фрезы относительно колеса, поворота шпинделя фрезы на нужный угол и т. п.). Станок работает как полуавтомат и требует вмешательства оператора лишь для смены заготовок.

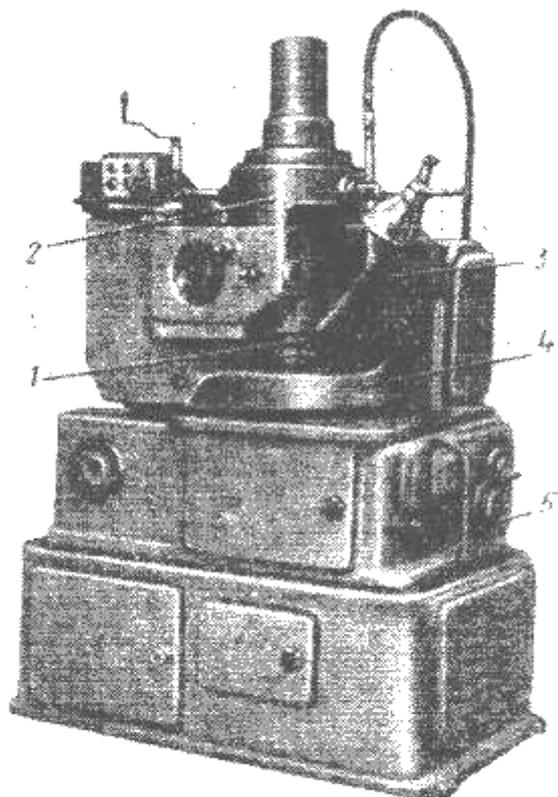


Рис. 215. Зубодолбежный станок

^ **Зубодолбежные станки.** Общий вид **станка** показан на рис. 215, Рабочие движения сообщаются инструменту и заготовке. Движением резания является возвратно-поступательное движение долбяка 1, закрепляемого на шпинделе **станка**. Стол **станка** с оправкой для закрепления заготовки 4 (за кожухом) получает вращательное движение, согласованное с вращением долбяка. Эти движения обкаточные, они воспроизводят движения зубчатой передачи шестерня — колесо, положенной в основу кинематики **станка**. Горизонтальное перемещение долбежной головки 2 по направляющим траверсы 3 осуществляется в период врезания долбяка в заготовку. В период холостого хода долбяка вверх осуществляется радиальное перемещение стола с отводом заготовки от долбяка. Перед началом рабочего движения заготовка подводится к долбяку.

Двигатель **зубодолбежного станка** чаще всего общий, обслуживающий все рабочие и вспомогательные перемещения, однако имеются **станки**, в которых помимо электродвигателя рабочих движений есть двигатели гидропривода, быстрого хода стола, подвода и отвода заготовки к долбяку, насоса охлаждения и др.

Несущая система **станка** обеспечивает неизменность межосевого расстояния между долбяком и заготовкой в процессе обработки. Станина 5 зубодолбежного **станка** с вертикальным шпинделем несет в верхней части траверсу с горизонтальными направляющими, по которым перемещается долбежная головка 2.

Передаточные механизмы движения резания включают ременные, зубчатые конические и цилиндрические передачи. Преобразование вращательного движения в возвратно-поступательное движение долбяка осуществляется кривошипно-шатунным механизмом и сектором с рейкой. Величина хода регулируется перемещением кривошипного пальца относительно оси его вращения, шатун делается раздвижным. Далее движение передается рычагом, имеющим зубчатый сектор, который входит в зацепление с рейкой на шпинделе (штосселе) **станка**.

Передаточные механизмы движения подачи и обкатки состоят из зубчатых конических и цилиндрических передач и червячной пары, приводящей во вращение стол. В цепях движения резания и подачи имеются гитары сменных колес для настройки цепи подач, скоростей и обкатки (деления). Плавное врезание долбяка в заготовку обеспечивается кулачком с рассчитанным профилем.

Исполнительный механизм (шпиндель долбежной головки) приводится во вращение червячной парой; возвратно-поступательное движение долбяка осуществляется реечной передачей. Исполнительный механизм, вращающий заготовку со столом и оправкой, представляет собой обычно червячную пару высокой точности; горизонтальные перемещения стола во время холостого хода долбяка осуществляются рычажным механизмом.

Система управления **станком** состоит из кнопочной станции, управляющей электродвигателями, и рукояток для наладки **станка** на конкретную заготовку (обеспечение межосевого расстояния между долбяком и заготовкой, места вертикального расположения долбяка относительно колеса, длины рабочего хода долбяка и т. п.). Станок работает как полуавтомат и требует вмешательства оператора лишь для смены заготовок.

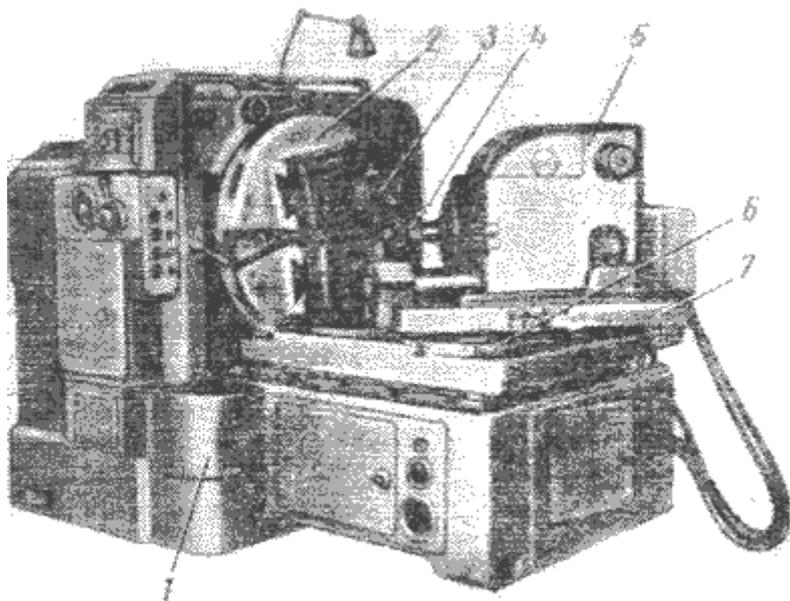


Рис. 216. Зубострогальный станок

^ **Зубострогальные станки для обработки конических колес.** Широкое применение для обработки конических колес с прямым зубом находят зубострогальные **станки**, работающие двумя резцами (рис. 216). Рабочие движения сообщаются инструменту и заготовке. Движение резания осуществляют резцы, движущиеся возвратно-поступательно в радиальном направлении к центру **станка** и закрепляемые в резцовых салазках. Салазки размещены на люльке 2, представляющей собой образующее плоское колесо. Заготовка 4 закрепляется в шпинделе делительной головки 5. Заготовке через зубчатую передачу сообщается вращение в период обкатки.

Она же совершает операцию деления при помощи особого механизма. Вращения люльки и заготовки являются обкаточными движениями, которые воспроизводят зацепление нарезаемого, конического колеса с плоским производящим колесом. Головка 5 устанавливается под определенным углом к плоскости движения резцов на направляющих 6. Подвод и отвод заготовки к резцам совершается по салазкам 7. После установки заготовки **станок** работает по следующему циклу: пуск **станка** и начало работы резцов — врезание резцов в заготовку — обкатка резцами впадины зуба — отвод заготовки в исходное положение. — деление заготовки на один зуб и т. д. z раз.

Двигатель зубострогального **станка** обеспечивает все рабочие и вспомогательные движения. Несущая система **станка** обеспечивает неизменность условий обработки. На станине 1 **станка** закреплены все основные узлы.

Передаточные механизмы движения резания включают ременные передачи

со сменными шкивами. Преобразование вращательного движения в возвратно-поступательное движение резцов осуществляется кривошипно-шатунным механизмом. Передаточные механизмы движения подач и обкатки состоят из цилиндрических и конических передач и из червячной пары, приводящей во вращение шпиндель с заготовкой. Продолжительность обработки одной впадины изменяется при помощи гитары сменных колес. Вращение заготовки согласовывается с вращением суппорта, на котором установлены резцы. Согласование производится гитарой сменных колес суппорта, на котором установлены резцы.

Система управления **станком** состоит из кнопочной станции, управляющей электродвигателем, и рукояток для наладки **станка** на конкретную заготовку. Станок работает как полуавтомат: после установки заготовка и включения электродвигателя все движения, необходимые для нарезания зубьев, осуществляются автоматически.

Система охлаждения зоны резания включает помпу и систему очистки СОЖ.

2. Зубодолбление

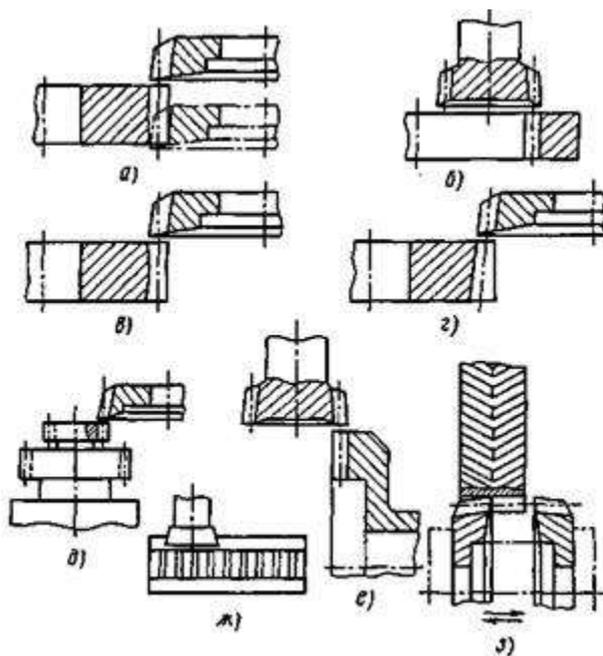
1. Зубодолбление цилиндрических колес

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес на зубодолбежных станках производится двумя методами: обкатыванием — круглыми долбьяками или зубчатой рейкой и копированием — специальной резцовой головкой. Наибольшее применение в промышленности получил метод обкатывания круглыми долбьяками. Обработку производят на зубодолбежных станках с одним вертикальным инструментальным шпинделем или на станках с двумя противоположно расположенными горизонтальными шпинделями. Метод обкатывания круглым долбьяком более универсален, его технологические возможности значительно шире, чем при зубофрезеровании червячными фрезами.

На зубодолбежных станках методом обкатывания круглыми долбьяками можно нарезать зубчатые колеса внешнего (рис. 1, а) и внутреннего (рис. 1, б) зацеплений с прямыми и косыми зубьями, с бочкообразной (рис. 1, в) и конической (рис. 1, г) формами зуба.

Некоторые типы зубчатых колес могут быть нарезаны только долбьяками, к ним относятся блочные зубчатые колеса с близко расположенными венцами (рис. 1, д), колеса цилиндроконических передач (рис. 1, е), зубчатые рейки (рис. 1, ж), шевронные колеса без канавки между зубьями (рис. 1, з) и с канавками, короткие шлицевые валы, а также копиры со сложной формой

зубьев.



^ Рис. 1. Нарезание зубчатых колес круглыми долбяками на зубодолбежных станках

Зубодолбление широко применяют не только там, где вследствие геометрии колеса нельзя использовать зубофрезерование, но и для нарезания стандартных зубчатых колес высокого качества. Степень точности изготовления зубчатых колес круглыми долбяками: при применении долбяков класса АА - 6-я, класса А - 7-я и класса В - 8-я (по ГОСТ 1643-81). Шероховатость поверхности профилей зубьев $Ra = 0,8 - 1,6$ мкм.

^

2. Принципы образования зубьев и методы зубодолбления

Нарезание зубчатых колес круглыми долбяками по методу обкатывания основано на воспроизведении зацепления пары зубчатых колес. Одним элементом является нарезаемое колесо, другим - круглый долбяк 2 (рис. 1, а). Если червячную фрезу можно сравнить с производящей рейкой, то долбяк сравнивают с зубчатым колесом, имеющим такое же число зубьев.

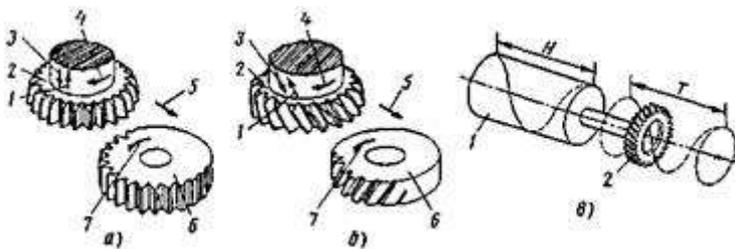
Долбяк нарезает зубья строганием при возвратно-поступательном движении, причем снятие стружки производится по всей ширине зуба и только в процессе рабочего хода 3. При обратном ходе 1 снятие металла не происходит, инструмент отводится от заготовки (или заготовка отводится от инструмента), чтобы исключить повреждение режущих кромок при трении.

В процессе резания колесо 6 и долбяк 1 вращаются согласованно вокруг

своих осей, совершая движения обкатки 7 и 4 относительно друг друга для придания эвольвентного профиля зубьям нарезаемого колеса, одновременно долбяк совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси. Поворот долбяка на один зуб соответствует повороту заготовки также на один зуб.

В начале обработки долбяк 2 быстро подводится к заготовке, не доходя до ее наружной поверхности примерно 0,5...1,00 мм. По традиционному методу обработки первоначально долбяк 2 осуществляет врезание с определенной радиальной подачей 5. При достижении полной высоты зуба (если обработку производят за один проход) врезание прекращается, автоматически включается круговая подача, начинается взаимная обкатка, в результате движения резания происходит формирование профиля зубьев колеса. Обкатывание продолжается до тех пор, пока заготовка после врезания не совершит один полный оборот, т.е. все зубья колеса будут полностью обработаны. После чего станок автоматически выключается, заготовка возвращается в исходное положение.

На зубодолбежных станках с ЧПУ врезание долбяка может также осуществляться с меньшей радиальной подачей при одновременной взаимной обкатке.



^ Рис. 2. Схема нарезания круглыми долбяками цилиндрических колес: а - прямозубых; б - косозубых (с помощью винтового копира (в))

Таким образом долбяк по спиральной подаче за несколько оборотов заготовки достигает полной высоты зубьев.

При нарезании косозубых колес внешнего зацепления долбяк 2 (рис. 2, б) должен быть также косозубым с тем же углом наклона, что и нарезаемое колесо 6, но с противоположным направлением наклона зуба. Заготовка и долбяк вращаются в разных направлениях 7 и 4. Для образования косых зубьев колеса долбяк при его возвратно-поступательном движении (3 и 1) получает дополнительный поворот. Поворот осуществляют от специального копира с винтовыми направляющими (при обработке прямозубых колес направляющие копиры прямолинейные).

Винтовые направляющие копира 1 (рис. 2, в) должны иметь направление

наклона, как у зубьев долбяка 2, а угол наклона, - как у зубьев нарезаемого колеса. Шаг направляющих копира Н должен быть равен шагу винтовой линии зубьев долбяка Т, который зависит от угла наклона линии зуба и диаметра делительной окружности долбяка. Отношение шага направляющих копира Н к шагу винтовой линии зубьев нарезаемого колеса должно быть равно отношению числа зубьев z_0 долбяка к числу зубьев z нарезаемого колеса:

$$H/T = z_0/z,$$

а угол наклона зуба

$$\sin \beta = \frac{\pi m_n z_0}{H}$$

Угол профиля $\alpha, ^\circ$	Отношение z/z_0 , не менее, при z		
	20.. .35	36.. .60	>61
30	2,0	1,8	1,5
20	2,5	2,3	2,0
15	3,0	2,8	2,5

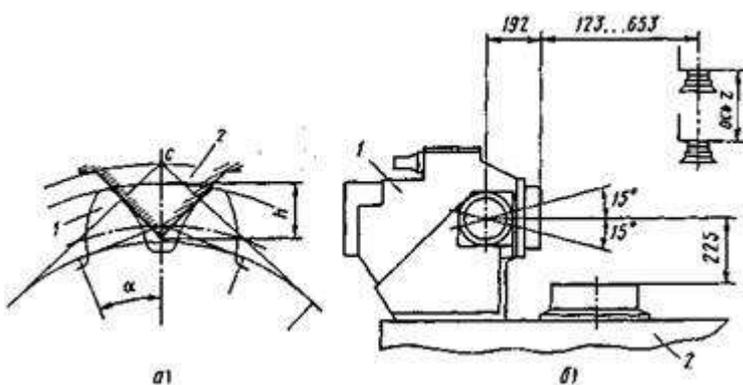


Рис. 4. Зацепление зубьев цилиндрических передач (а) и приспособление для обработки колес (б)

3. Нарезание зубьев колес цилиндрических и цилиндрических передач производят на зубодолбежных станках с использованием

специальных приспособлений (см. рис. 1, е). Наибольший диаметр колеса определяют таким образом, чтобы сечение его зуба 2 представляло равнобедренный треугольник, а зубья шестерни 1 имели эвольвентный профиль (рис. 4, а). При этом параметры зубьев шестерни ограничены опасностью подрезания (при малых углах профиля) и заострения (при больших углах профиля). Наиболее часто применяют угол профиля у колеса и шестерни $\alpha = 20^\circ$.

При зубодолблении колеса правильного зацепления можно добиться в том случае, если число зубьев у долбяка равно или больше на один зуб, чем у шестерни. Износ долбяка имеет значения до тех пор, пока смещение исходного контура долбяка больше смещения исходного контура шестерни. На рис. 4, б показано приспособление 1, установленное на стол 2 зубодолбежного станка с ЧПУ. С помощью этого приспособления можно производить обработку зубьев колес цилиндроконических и цилиндригипоидных передач долблением или протягиванием, непрерывным обкатным или прерывистым обкатным и прерывистым врезным методами.

4. Нарезание колес зубчатыми гребенками осуществляют на зубострогальных станках вертикальной компоновки методом обката. Станки предназначены главным образом для нарезания крупномодульных прямозубых и косозубых цилиндрических колес, шевронных колес с разделительной канавкой в середине заготовки, цепных звездочек и т.д. Если установить на станке устройство для закрепления долбяка, то можно нарезать зубчатые колеса внутреннего зацепления с прямыми, косыми и шевронными зубьями.

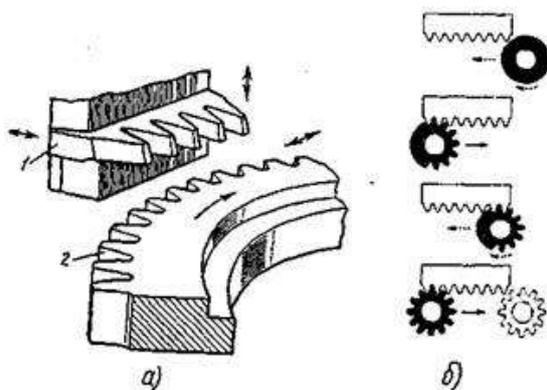
Процесс нарезания зубьев гребенкой основан на зацеплении нарезаемого колеса с зубчатой рейкой, которая выполняет функции режущего инструмента. Заготовка 2, закрепленная на столе станка, имеет вращательное и поступательное движение вдоль гребенки 1, а зубчатая гребенка, установленная в суппорте, имеет возвратно-поступательное движение (рис. 5, а). Резание осуществляется при движении гребенки вниз, при ходе вверх гребенка отводится от заготовки.

Эвольвентная форма зубьев колеса получается в результате обката нарезаемого колеса вдоль зубьев гребенки, которые имеют прямолинейные режущие кромки (рис. 5, б). Обычно число зубьев гребенки меньше, чем число зубьев нарезаемого колеса, поэтому обкат колеса по гребенке приходится осуществлять многократно. Точность обработки зубчатыми гребенками высокая, соответствует 3-5 степени точности.

5. Нарезание зубчатых колес методом копирования производят многорезцовыми головками на специальных зубодолбежных станках. Этот метод применяют для обработки зубчатых колес с внешним зацеплением с

модулем $t = 2 \cdot 12$ мм, диаметром $d_a = 25 \cdot 500$ мм и шириной зубчатого венца $b < 150$ мм. Все зубья колеса нарезают одновременно. Число резцов 5 (рис. 6) в головке равно числу зубьев нарезаемого колеса. Резцы затылованы, профиль режущей кромки каждого резца соответствует форме впадины зуба. Во время резания резцовая головка 1 неподвижна, а обрабатываемое колесо 4 совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости внутри резцовой головки.

Нарезание зубьев осуществляют за несколько рабочих ходов детали. Резцы в головке расположены радиально. Перед каждым рабочим ходом наружный конус 2 подводит резцы к центру на величину заданной подачи до тех пор, пока не будет достигнута полная высота зуба нарезаемого колеса. Внутренний конус 3 после каждого рабочего хода отводит резцы от заготовки, обеспечивая зазор при обратном ходе. При достижении окончательного размера зубьев резцы отводятся в исходное положение, а заготовка перемещается вниз в загрузочную позицию. Время обработки зубчатого венца муфты автомобиля ($z = 24$; $t = 5$ мм; $b = 10$ мм) 21 с.



^ Рис. 5. Схема нарезания зубьев зубчатой гребенкой

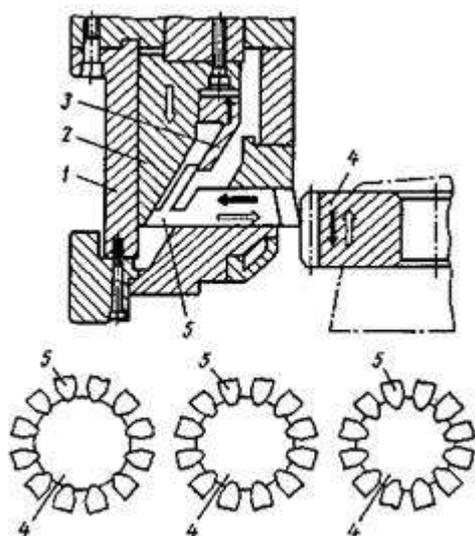
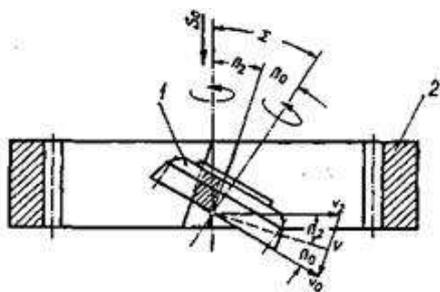


Рис. 6. Схема нарезания зубьев резцовой головкой

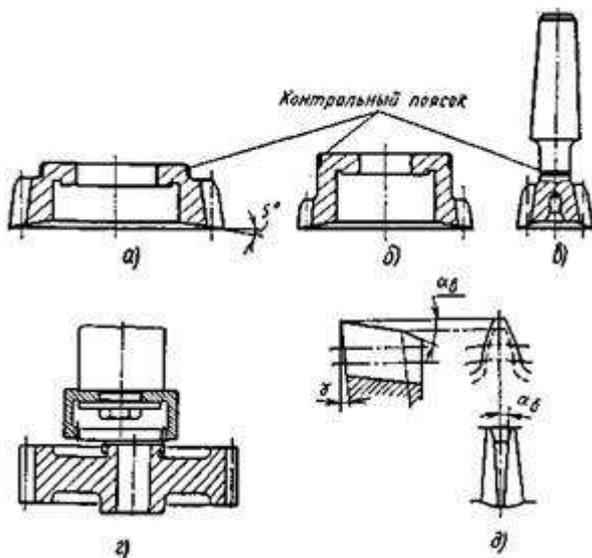
Этот высокопроизводительный метод применяют для обработки крупных серий зубчатых колес невысокой точности (8-11 степени по ГОСТ 1643-81).

6. Зуботочение круглыми долбяками применяют для изготовления зубчатых колес внутреннего зацепления среднего и крупного модуля с углом наклона $B_2 = 0^{\circ}60^{\circ}$ (рис. 7). В процессе резания режущий инструмент 1 (см. рис. 7), имеющий форму долбяка, и обрабатываемое колесо 2 взаимно обкатываются на скрещенных осях. Угол скрещивания осей долбяка и заготовки обычно равен $25...35^{\circ}$. Скорость резания v при зуботочении, равная сумме окружных скоростей долбяка v_0 и заготовки v_2 , выбирается в пределах $20...40$ м/мин. Режущий инструмент перемещается в вертикальной плоскости с осевой подачей $S_0 = 0,5*2,0$ мм/об, долбяка. Достигаемая при зуботочении точность равна 8-9 степени (ГОСТ 1643-81). Поэтому зуботочение часто применяют для предварительной обработки прямозубых или косозубых колес с внутренним зацеплением.

Круглые долбяки, зубчатые гребенки и их заточка. Круглые долбяки изготавливают трех типов: *дисковые* с прямыми и косыми зубьями (рис. 8, а), *чашечные* с внешними (рис. 8, б) и внутренними (рис. 8, г) прямыми зубьями, *хвостовые* прямозубые и косозубые (рис. 8, в).



^ Рис. 7. Схема зуботочения цилиндрических колес с внутренним зацеплением



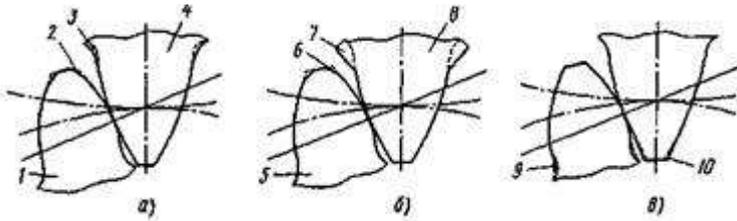
. Рис. 8. Типы круглых долбяков (а, б, в, г) и параметры зуба долбяка (д)

Круглые долбяки изготавливают классов точности АА, А и В.

Дисковые долбяки обычно применяют для колес внешнего зацепления. Для повышения периода стойкости и точности обработки диаметр долбяка выбирают максимально возможным. Чашечные долбяки с внешними зубьями применяют для обработки колес внешнего зацепления с выступающим буртиком или зубчатым венцом. Долбяк этого типа жестче, чем хвостового типа, поэтому чашечные долбяки с внутренними зубьями рекомендуют применять для обработки более точных колес внутреннего зацепления.

Хвостовые долбяки применяют для нарезания колес внутреннего зацепления. Долбяки имеют форму закаленного шлифовального колеса с затылованными зубьями. Так как зубья долбяка имеют небольшой конус, после заточки толщина зуба и внешний диаметр уменьшаются, профиль зубьев изменяется. Для повышения срока службы при нарезании колес внешнего зацепления у нового долбяка увеличивают диаметр делительной окружности. Передний угол $\gamma = 5^\circ$ для облегчения резания (рис. 8, д). Задний угол при вершине $\alpha_{\text{в}} = 7^\circ 56'$ при $\alpha = 14,5^\circ$, $\alpha_{\text{в}} = 5^\circ 49'$ при $\alpha = 20^\circ$ и $\alpha_{\text{в}} = 4^\circ 43'$ при $\alpha = 25^\circ$, боковые задние углы по нормали $\alpha_{\text{б}} = 2-2^\circ 30'$.

Для выверки долбяка на шпинделе станка служит контрольный поясок. Долбяки с модулем 1,5 мм и больше изготавливают с модифицированным профилем. Для изготовления среза 2 на головке зуба колеса 1, облегчающего вход в зацепление, эвольвентная форма профиля в ножке зуба 4 долбяка имеет утолщение 3 (рис. 9, а). Выполнение в ножке зуба долбяка 8 фланка 7 способствует снятию фаски 6 на головке зуба 5 колеса, предохраняющей его эвольвентный профиль от повреждений при транспортировании (рис. 9, б). Если зубодолбление производят с подрезкой ножки зуба 9 под последующее шевингование или шлифование, долбяки изготавливают с протуберансом 10 (рис. 9, в) на головке зуба.



^ **Рис.9. Долбяки с модифицированным профилем зуба**

Обычно долбяки изготавливают из быстрорежущей стали твердостью 63...64,5 HRC. Для обработки зубчатых колес с повышенной твердостью и большой шириной венца применяют долбяки из порошковой быстрорежущей стали с высокой твердостью (66...67 HRC) и вязкостью.

Покрытие долбяков износостойкими покрытиями из нитрида титана и карбида титана способствует повышению их стойкости. Так как при первой заточке износостойкий слой снимается с передней поверхности, то очень важно иметь высокую твердость основного материала. У долбяков с покрытием максимальный износ по задней поверхности на чистовых операциях допускается меньше на 0,2...0,3 мм, чем у долбяков без покрытия.

7. Косозубые долбяки применяют для изготовления косозубых колес внешнего и внутреннего зацепления. При изготовлении колес внешнего зацепления направление угла наклона линии зуба долбяка и обрабатываемого колеса противоположные, а для внутреннего зацепления углы наклона инструмента и детали одинаковые. Косозубый долбяк и направляющие копира станка находятся в определенной зависимости друг с другом. Косозубый долбяк, спроектированный для определенного зубчатого колеса, нельзя использовать для нарезания других колес, если угол наклона зуба их отличается от угла наклона данного колеса.

8. Долбяки для шевронных колес изготавливают комплектно: один - с правым наклоном зуба, другой - с левым для обработки обеих половин шевронного колеса. Долбяки со специальной заточкой режущих кромок выточки в заготовке шевронного колеса не требуют. Диаметры долбяков в комплекте после заточки должны быть одинаковыми.

9. Долбяки для колес внутреннего зацепления. Число зубьев долбяка для внутреннего зацепления должно быть равно или несколько меньше числа зубьев сопряженной шестерни. Долбяки с числом зубьев менее 10 применять не рекомендуется. С уменьшением диаметра долбяка увеличивается переходная поверхность в основании зуба колеса и возникает опасность срезания вершин зубьев колеса боковыми поверхностями зубьев долбяка при

обкатывании. При увеличении диаметра долбяка происходит срезание уголков вершин зубьев колеса при врезании на полную высоту. Зубчатые гребенки (рис. 10, а) предназначены для обработки цилиндрических колес внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями и шевронных колес. Геометрическая форма профиля зуба зубчатой гребенки соответствует профилю зуба исходного контура зубчатой рейки. Профиль зуба гребенки изготовляют различной формы: для черного и чистового нарезания зубьев, под шевингование и шлифование, с протуберансом и фланком и с полностью скругленной вершиной зуба. Одной и той же прямозубой гребенкой можно нарезать прямозубые и косозубые цилиндрические колеса.

Шевронные колеса изготовляют косозубыми гребенками. Плоская форма гребенок по сравнению с другими видами инструмента проще в изготовлении и измерении и гарантирует высокую точность изготовления. По мере переточки размер зуба гребенки не меняется. Гребенка имеет большое число возможных переточек, ее стачивают до высоты 3,5 мм. Чтобы сохранить прочность зуба сверху гребенки 1 устанавливают упорную подкладку 2 (рис. 10, б). Передний угол, равный $6^{\circ}30'$, образуется при ее установке в державку зубодолбежного станка.

10. Заточка круглых долбяков и зубчатых гребенок. Прямозубые долбяки затачивают с передним углом 5° (рис. 11, а). От этого угла зависит точность профиля режущей кромки, поэтому при заточке его необходимо выдерживать с жесткими допусками. Погрешность переднего угла оказывает влияние на точность эвольвентного профиля зуба. Долбяки затачивают на станке с вращающимся столом, который наклонен под углом 5° . Косозубые долбяки затачивают в специальном приспособлении. Затачиваемая передняя поверхность располагается под углом 90° к винтовой линии зуба долбяка, передний угол равен 5° (рис. 11, б). Каждый зуб затачивается отдельно, поэтому очень важно снимать одинаковый слой металла со всех зубьев с последующим тщательным выхаживанием. Колебание высоты зубьев долбяка вызывает погрешность шага обрабатываемого колеса. Неперпендикулярное расположение шлифовального круга к винтовой линии и неправильный передний угол вызывают погрешность эвольвенты зуба колеса. После заточки у косозубых долбяков проверяют передний угол и точность расположения высоты зубьев, у прямозубых долбяков проверяют только передний угол. Визуально контролируют шероховатость поверхности, прижоги и отсутствие следов износа на режущих кромках.

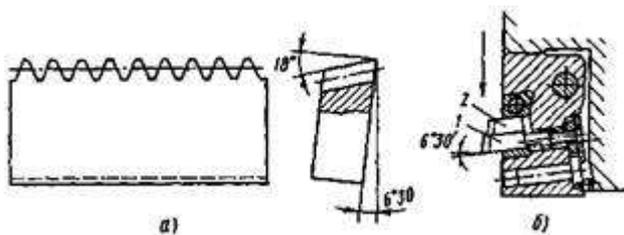


Рис. 10. Зубчатая гребенка (а) и ее закрепление в суппорте станка (б)

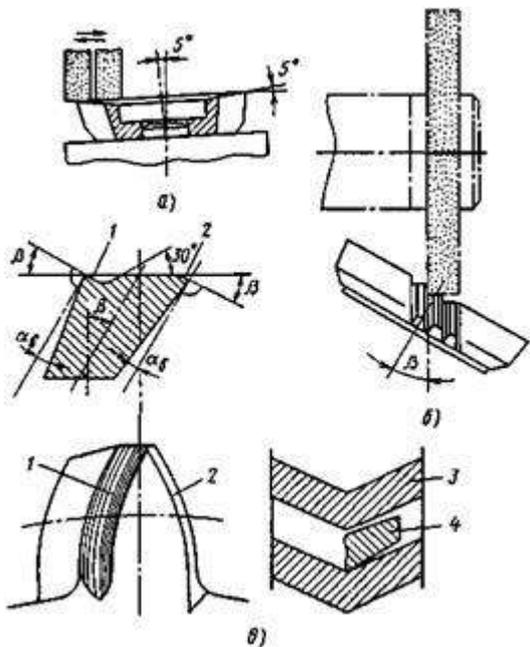
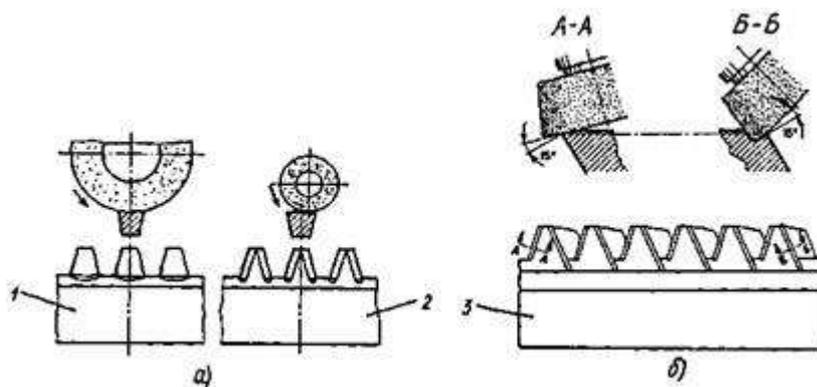


Рис. 11. Заточка круглых долбяков:

а - прямозубых; б - косозубых; в - косозубых для шевронных колес

При заточке долбяков для шевронных колес первой операцией является шлифование передней поверхности перпендикулярно оси долбяка снятия затупленного слоя. Так как долбяки этого типа применяются в паре (комплектно), один долбяк с правым, другой с левым наклоном зуба, то диаметры их должны быть одинаковыми. На передней поверхности зуба долбяка со стороны острого угла снимается небольшая фаска 2, а со стороны тупого угла образуется радиусная канавка 1, параллельная эвольвентному профилю, для лучшего схода стружки (рис. 11, в). Долбяками с такой заточкой можно нарезать шевронные колеса 3 без разделительной канавки.



^ Рис. 12. Схемы заточки зубчатых гребенок

Режущая кромка зуба долбяка 4 с фаской режет до вогнутой вершины, а режущая кромка с канавкой выходит за выпуклую вершину зуба колеса. Стандартная форма заточки передней поверхности зубчатой гребенки для черновой 1 и чистовой 2 обработки прямозубых и косозубых цилиндрических колес, а также шевронных колес с широкой разделительной канавкой показана на рис. 12, а. На рис. 12, б приведена схема заточки косозубой зубчатой гребенки 3 для нарезания зубьев шевронных колес без разделительной канавки.

^

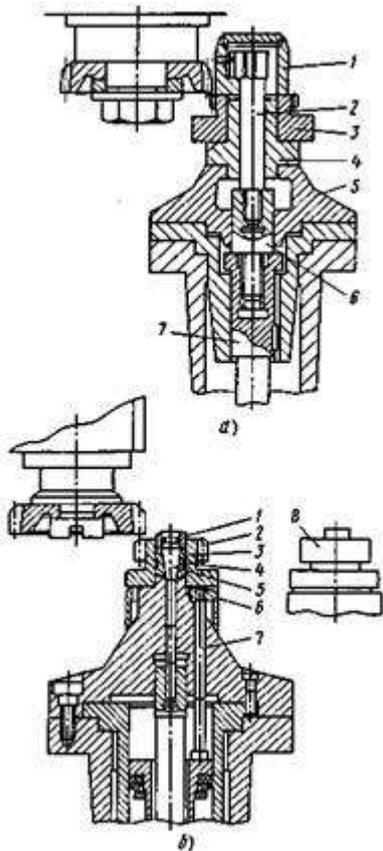
11. Зажимные приспособления

Зажимные приспособления на зубодолбежные станки в отличие от приспособлений, применяемых в станках других видов обработки - консольного типа, поэтому они должны иметь достаточную жесткость, массу и небольшой вылет, чтобы уменьшить вибрации и отжимы в процессе резания.

На рис. 13, а приведено зажимное приспособление универсального типа. Зубчатое колесо 3 базируют по отверстию и торцу зубчатого венца и центрируют по втулке 4, которая установлена в планшайбе 5. Заготовка в приспособлении зажимается с помощью гидроцилиндра через тягу 7, соединительную муфту 6, шток 2 и прижимную крышку 1. Это приспособление обеспечивает точное и жесткое крепление, его можно использовать для широкого диапазона зубчатых колес, заменяя втулку 4,

шток 2 и крышку 1.

На рис. 13 показано многокулачковое приспособление для закрепления зубчатого колеса с выступающим буртиком.



^ Рис. 13. Зажимное приспособление для зуборезных станков

Преимущества многокулачковых приспособлений заключаются в том, что кроме большого срока службы и высокой точности они допускают большой диапазон развода кулачков (до 0,5 мм), что значительно облегчает условия установки заготовки в приспособлении.

Обрабатываемое колесо 2 центрируют по пальцу 1 с опорой на торец планшайбы, а закрепляют кулачками 3. Зажимные кулачки 3 в количестве шести - десяти штук закрепляют заготовку при воздействии на них

конического штока 5 от гидравлического привода. Пружинное кольцо 4 постоянно поджимает кулачки 3 к конической поверхности штока 5. Когда обработка колеса будет закончена, стакан 6 поднимется от перемещения пальцев 7 и столкнет деталь с оправки для передачи транспортером на другой станок.

Точность установки приспособления на станке, в котором обрабатываемое колесо зажимается цангой или кулачками, определить практически невозможно. В этом случае контроль производят либо по точно обработанной заготовке, либо по специальному калибру 8, размеры которого должны соответствовать размерам нарезаемого колеса. Радиальное биение наружной поверхности калибра 8, закрепленного в приспособлении, не должно превышать 0,015...0,020 мм. Торцовое биение не более 0,005...0,01 мм.

3. Зубонарезание

Основной технологической операцией при изготовлении зубчатых колес является обработка их зубьев, на которую затрачивают 50...60% от общей трудоемкости механической обработки.

Нарезание зубьев на зубчатых колесах в производстве осуществляют фрезерованием, долблением, строганием, шлифованием, накатыванием, протягиванием и другими способами.

При изготовлении эвольвентных зубчатых колес различают два **метода зубонарезания**: копированием профиля режущего инструмента (метод деления) и обкатыванием (метод огибания).

1. Метод копирования. По методу копирования впадина между зубьями колеса образуется режущим инструментом (резцом, пальцевой или дисковой фрезой, протяжкой, шлифовальным кругом), имеющим профиль режущих кромок, одинаковый с профилем впадины обрабатываемого колеса.

Дисковой модульной фрезой на горизонтально-фрезерном станке (рис. 41) нарезают зубчатые колеса. Фреза 3 совершает вращательное движение, а стол станка 5 с нарезаемым колесом и делительной головкой* перемещается вдоль оси колеса (продольная подача). После того как впадина зуба профрезерована полностью, стол с заготовкой, посаженной на оправу 2, и делительной головкой отводится в исходное положение, а заготовка 1 с помощью делительной головки 4 поворачивается на один зуб или на один шаг. Далее фрезеруется следующая впадина и т. д.

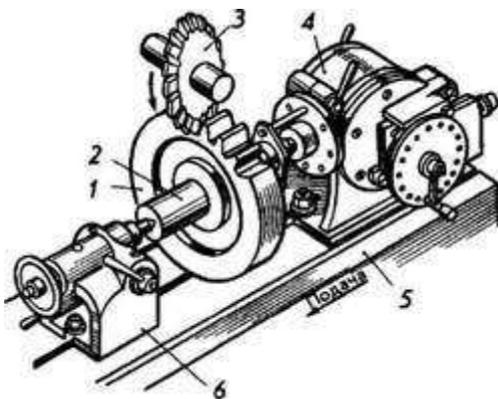


Рис. 41

При больших модулях** размеры дисковых фрез получаются очень большими, поэтому при нарезании зубчатых колес с модулем от 30 до 75 мм предпочитают применять пальцевые фрезы.

2. Метод обкатывания. При нарезании зубьев червячной фрезой (рис. 42. I) последней сообщают вращательное движение в направлении стрелки А и поступательное движение подачи в направлении стрелки В. Одновременно заготовка получает вращательное движение. Благодаря вращательным движениям фрезы и заготовки профили режущих кромок фрезы занимают по отношению к профилю зубьев колес ряд положений (рис. 42. II). Эвольвентные профили зубьев колеса образуются при этом как огибающие ряда положений кромок фрезы.

Другой инструмент, работающий по методу огибания, — режущее зубчатое колесо (долбяк), зубьям которого придана форма, обеспечивающая им режущие свойства. При нарезании зубьев долбяку придают возвратно-поступательное движение в направлении стрелки Н (рис. 42. III). Перемещаясь вниз, долбяк своими зубьями срезает с заготовки металл. Кроме того, долбяк и заготовка вращаются в направлении стрелок В и С. При вращении долбяк делительной окружностью D—D (рис. 42, IV) катится без скольжения по делительной окружности E—E заготовки в направлении стрелки Р. Эвольвентный профиль зуба долбяка при этом будет занимать ряд последовательных положений, как показано на рисунке. Эвольвентный профиль зуба колеса будет огибающей всех положений эвольвентного профиля зуба долбяка.

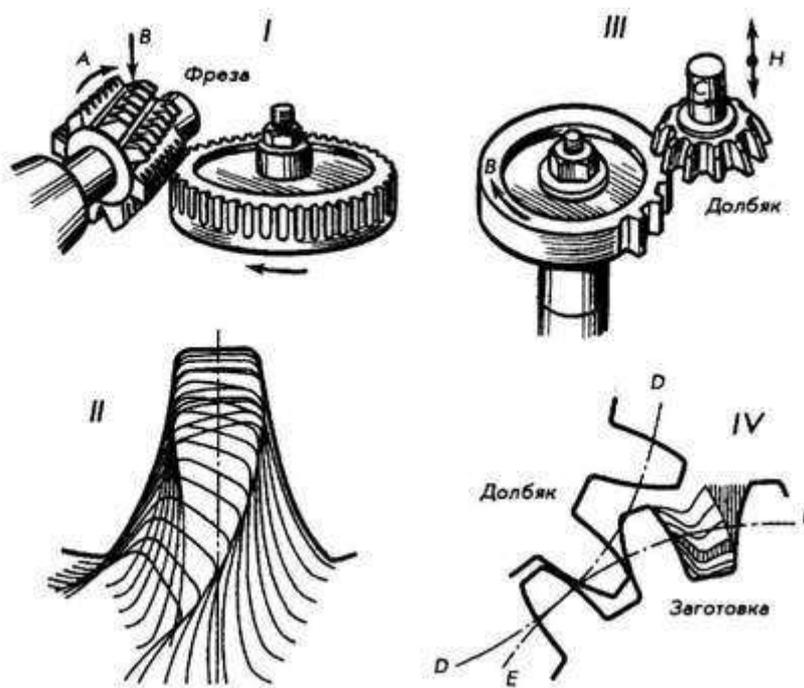


Рис. 42

^ Червячная фреза и долбяк — универсальные инструменты. Они имеют преимущественное применение при нарезании зубьев на зубчатых колесах.

Метод обкатывания наиболее точен и производителен и является основным при обработке зубчатых колес.

Наша промышленность выпускает различные зубообрабатывающие станки. Так, нарезание зубьев методом обкатывания производится на зубофрезерных, зубодолбежных и зубострогальных станках.

* ^ Делительная головка — устройство, применяемое большей частью для обработки на фрезерных станках деталей, требующих периодического поворота вокруг своей оси на любое наперед заданное число

*** Модуль* — зубчатого зацепления — число, выражающее кратность шага зубчатого зацепления числу 31.

4. Зубофрезерование

1. Принцип образования зубьев червячной фрезой

В производстве зубчатых колес нарезание зубьев на зубофрезерных станках червячными фрезами методом обката является наиболее распространенным и трудоемким. Этим методом можно нарезать цилиндрические зубчатые колеса внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями стандартной, конической и бочкообразной формы, блочные колеса, червячные колеса, шлицевые валы, звездочки цепных передач и др.

Одной червячной фрезой одинакового нормального модуля и угла профиля можно нарезать большое количество прямозубых и косозубых колес с различным числом и углом наклона зубьев, но с одинаковым модулем и углом профиля. Двухвенцовые зубчатые колеса с различным числом зубьев у венцов нарезают за один установ заготовки.

При зубофрезеровании методом обката инструмент и заготовка, находясь в зацеплении, вращаются вокруг своих осей, как червяк и червячное колесо (червяк представляет собой червячную фрезу). Продольные стружечные канавки фрезы образуют отдельные зубья с прямолинейным профилем, которые в результате затылования получают задние углы, необходимые для обработки резанием. По методу обката профиль зубьев цилиндрического колеса образуется прямолинейными режущими кромками червячной фрезы. Процесс резания заготовки червячной фрезой можно рассматривать подобно

зацеплению зубчатой рейки 2 (червячная фреза) и зубчатого колеса 1 (заготовки) на рис. 1, а.

На рис. 1, б показано, как следующие один за другим зубья 3 червячной фрезы входят в контакт с зубом 4 обрабатываемого колеса и формируют эвольвентный профиль. Эвольвентная форма зуба колеса, образованная прямолинейными режущими кромками одной червячной фрезой, обладает такими свойствами, которые позволяют зубчатым колесам с любым числом зубьев правильно зацепляться между собой и с зубчатой рейкой.

Другим важным преимуществом эвольвентного зацепления является то, что зубчатые колеса с эвольвентным профилем менее чувствительны к неточностям монтажа. Прямолинейный профиль зубьев червячной фрезы прост в изготовлении и контроле.

На рис. 1, в показана кинематическая схема зубофрезерного станка. Червячная фреза 2 и обрабатываемое колесо 1 получают от главного электродвигателя 6 через шкивы и систему зубчатых колес вращательные движения, которые относятся друг к другу, как число зубьев колеса к числу заходов червячной фрезы, т.е. червячная фреза и обрабатываемое колесо кинематически точно связаны между собой.

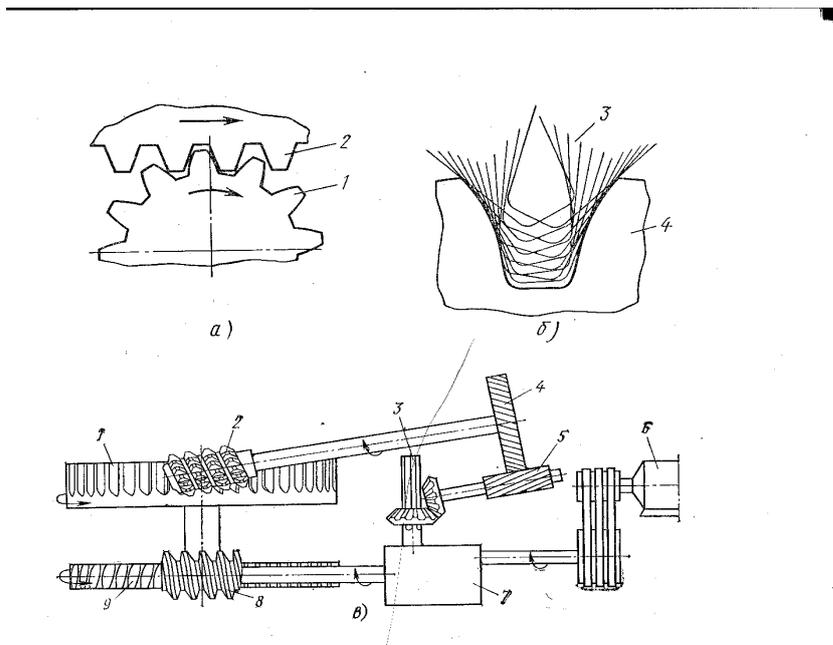


Рис. 1.Зубофрезерование цилиндрических колёс:

а – зацепление червячной фрезы с колесом; б – образование эвольвентного профиля;

в – принципиальная схема зубофрезерного станка.

Главным механизмом в кинематической цепи для передачи вращательного движения обрабатываемому колесу является делительная червячная передача 8/9. Эту передачу изготавливают с высокой точностью и собирают с минимальным боковым зазором.

Аналогичную роль в передаче вращательного движения червячной фрезе выполняет косозубая цилиндрическая пара 5/4. Червячная фреза кроме вращения имеет возможность перемещаться вдоль своей оси относительно косозубого колеса 5 и осуществлять движение подачи параллельно оси обрабатываемого колеса 1 по шлицевому валу 3. Зубчатые колеса для изменения скорости резания, подачи, деления находятся в узле 7.

2. Методы и способы нарезания зубьев

Нарезание цилиндрических зубчатых колес. Цилиндрические прямозубые и косозубые колеса нарезают двумя основными методами: копирования и обката.

^ **Метод копирования**, при котором профиль режущей части инструмента соответствует профилю впадины зуба нарезаемого колеса (рис. 2, в), имеет в основном малую производительность и невысокую точность, поэтому его применяют ограниченно, обычно в единичном производстве для обработки неотчетливых зубчатых передач (например, дисковыми модульными фрезами на универсально-фрезерных станках с использованием делительной головки). Метод копирования пальцевыми модульными фрезами применяют для обработки крупномодульных цилиндрических и шевронных колес, а также когда изготовление червячными фрезами неэкономично.

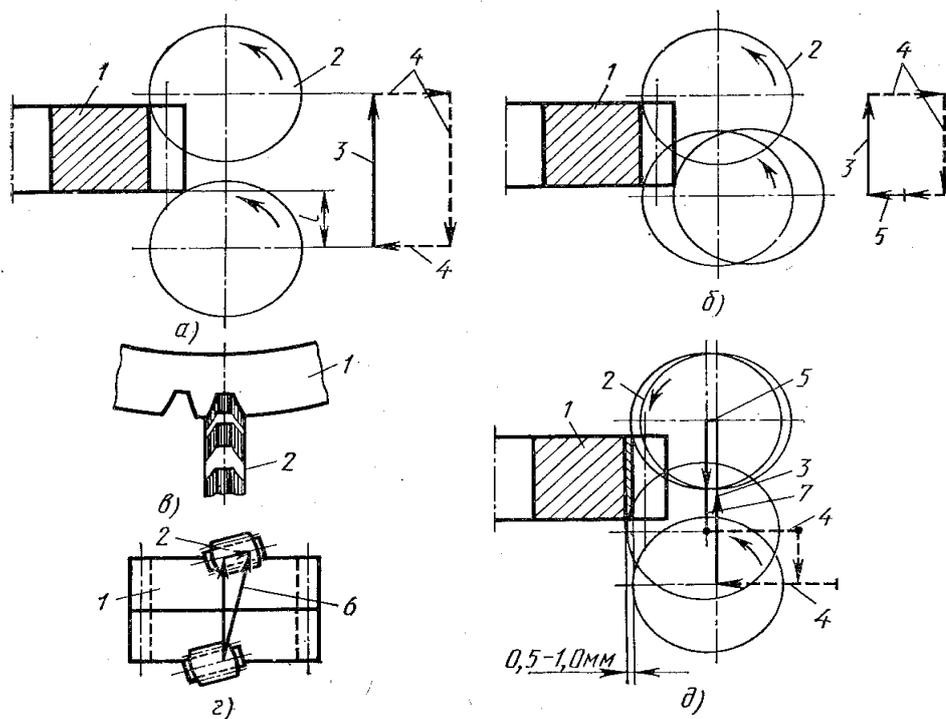


Рис. 28. Схемы методов зубофрезерования:

метод обката: *a* — с осевой подачей; *b* — с радиально-осевой подачей; *в* — метод копирования дисковой фрезой; *г* — с диагональной подачей; *д* — двухпроходное зубофрезерование; 1 — заготовка, 2 — режущий инструмент, 3 — осевая подача, 4 — холостые ходы, 5 — радиальная подача, 6 — тангенциальная подача, 7 — осевая подача второго хода

^ **Метод обката**, обладающий более высокой производительностью и точностью, широко применяется в различных отраслях промышленности. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие способы зубофрезерование методом обката.

Зубофрезерование с осевой подачей осуществляется при подаче червячной фрезы параллельно оси обрабатываемого колеса (рис. 2, *a*). Этот универсальный способ имеет наибольшее применение в промышленности для нарезания цилиндрических колес и шлицевых валов на обычных зубофрезерных станках. К недостаткам этого способа относится большая длина врезания l , которая возрастает с увеличением диаметра червячной фрезы и угла наклона линии зуба.

Зубофрезерование с радиальной осевой подачей заключается в том, что подача червячной фрезы в начале резания и до получения полной высоты зуба осуществляется радиально к оси обрабатываемого колеса, затем она прекращается и включается осевая подача (рис. 2, б). Этот способ осуществляется на специальных зубофрезерных станках обычными червячными фрезами. Производительность при радиально-осевой подаче выше, чем при осевой, за счет сокращения времени на врезание. Из-за повышенного износа зубьев червячной фрезы радиальная подача выбирается в пределах 0,7-0,9 мм/об. Этот способ рекомендуется применять там, где это необходимо по условиям обработки, например при зубофрезеровании зубчатых колес с большим наклоном линии зуба и закрытых зубчатых венцов, при зубофрезеровании двумя рабочими ходами и работе червячными фрезами большого диаметра. В обычных условиях способ с осевой подачей является более экономичным.

Зубофрезерование с диагональной подачей осуществляется на специальных зубофрезерных станках, где осевая подача сочетается с тангенциальной. Фреза перемещается по диагонали параллелограмма, составленного из двух подач - осевой и тангенциальной (рис. 2, в).

Зубофрезерование с диагональной подачей по сравнению с осевой улучшает сопрягаемость профилей зубьев прямозубых колес при обкате благодаря скрещиванию огибающих резцов. Это особенно важно для зубчатых колес, которые в дальнейшем не подвергаются окончательной обработке (например, зубчатые колеса насосов). Уменьшается также шероховатость поверхности на профилях зубьев. Существенно повышается период стойкости червячных фрез из-за более равномерного износа зубьев по всей рабочей длине фрезы.

Этот способ целесообразно применять для обработки колес с широкими зубчатыми венцами, пакета колес или колес с повышенной твердостью, когда

необходимо иметь большой период стойкости инструмента в процессе обработки. При диагональном зубофрезеровании экономически оправдано применять длинные и точные червячные фрезы.

Зубофрезерование с переменной осевой подачей основано на увеличении подачи при входе и выходе червячной фрезы из заготовки. Фрезерование зубчатого колеса начинается на максимальной подаче, затем она постепенно уменьшается до постоянной величины. На постоянной подаче станок продолжает работать до начала выхода фрезы из заготовки. В этот момент подача снова автоматически повышается до установленного максимального значения.

Увеличение подачи вызывает увеличение шероховатости поверхности на зубьях, поэтому этот способ применяют для зубчатых колес до $m=5$ мм под последующие чистовые операции - шевингование или шлифование, а также в случае нарезания зубчатых колес с большим углом наклона линии зуба, где путь врезания достаточно велик. Зубофрезерование с переменной осевой подачей позволяет повысить производительность на 20-35 %.

Сущность метода зубофрезерования за два рабочих хода состоит в том, что первый и второй рабочие ходы осуществляются последовательно, за один установ заготовки (рис. 2, δ), причем второй рабочий ход производится при минимальном припуске - глубина резания составляет 0,5-1,0 мм. Первый рабочий ход, как правило, производят на попутной подаче, второй - на встречной. Из-за малого припуска при втором рабочем ходе скорость резания и осевая подача выше, чем при первом.

При зубофрезеровании за два рабочих хода, которое применяют для колес с модулем свыше 4 мм помимо повышения производительности достигается высокая стабильная точность параметров зубьев, особенно по направлению

зуба, создаются благоприятные условия для автоматизации процесса зубофрезерования, увеличивается период стойкости инструмента и производительность на последующей операции зубошевингования.

При встречном зубофрезеровании срезаемая стружка имеет форму запятой, в начале ее толщина минимальная, а в конце - максимальная. При этом режущие кромки, особенно когда они затуплены. В начале врезания не режут, а скользят по поверхности, уплотняют ее, сами подвергаются повышенному износу. Условия резания значительно затруднены.

При попутном зубофрезеровании наоборот, толщина стружки в начале резания максимальная, а в конце - минимальная. В этом случае незначительное скольжение в начале резания создает более благоприятные условия резания. Станок менее нагружен и работает более спокойно. Период стойкости инструмента повышается на 10-30 %, достигается хорошая (матовая) поверхность, уменьшаются выхваты на профилях зубьев, возможные при встречном зубофрезеровании, образуется меньше заусенцев на торцах. Особенно эффективно попутное фрезерование при обработке вязких материалов. При обработке чугуна оно не имеет преимуществ. При попутной подаче винт с гайкой для перемещения суппорта с фрезой практически не должен иметь зазора.

Совмещенное зубофрезерование и зубодолбление - новое направление в расширении технологических возможностей зубофрезерных станков.

Созданы станки, на которых можно выполнять одновременно зубофрезерование и зубодолбление двух или трех зубчатых венцов, а также только зубофрезерование или зубодолбление наружных или внутренних венцов. Станки изготовлены на базе зубофрезерного станка, зубодолбежная головка установлена вместо задней колонны.

Основные преимущества совмещенного зубофрезерования и зубодолбления: более короткое время изготовления одной детали благодаря одновременной обработке двух-трех зубчатых венцов; для обработки двухвенцового колеса необходим один станок, одно зажимное приспособление, при этом сокращается стоимость оборудования, производственная площадь и т. д.; повышается точность обработки в отношении концентричности обоих зубчатых венцов, так как они нарезаются за одну установку.

3. Инструмент для нарезания цилиндрических зубчатых колес

Червячная фреза представляет собой одно- или многозаходный червяк, который имеет определенный исходный контур зубчатой рейки, а расположенные вдоль оси продольные стружечные канавки образуют зубья с режущими кромками, необходимые для обработки резанием.

Конструктивные элементы червячной фрезы приведены на рис. 3. Модуль и угол профиля фрезы должны быть равны модулю и углу профиля нарезаемого колеса. Зубья 1 червячной фрезы затылованы по архимедовой спирали, благодаря чему при переточке фрезы по передней поверхности 2 задние углы при вершине зуба $\alpha_b = 10\text{--}12^\circ$ и на боковой режущей кромке $\alpha_b = 2\text{--}4^\circ$, а также толщина зуба практически не изменяются. Для чистовых червячных фрез передний угол $\gamma = 0$, для черновых фрез $\gamma = 5\text{--}10^\circ$. Стандартный профиль зубьев фрезы в осевом сечении имеет прямые стороны (рис. 3, б). Червячные фрезы под шлифование и шевингование имеют модифицированный профиль (рис. 3, в). Утолщение, так называемый «усик» 4 на головке зуба фрезы, служит для поднутрения ножки зуба колеса, фланк 3 срезаёт фаску на вершине зуба колеса. Для повышения прочности зубьев колеса головка зуба фрезы скругляется и высота ее увеличивается (рис. 3, г), при этом необходимо соответственно увеличить полную высоту зуба

колеса.

В зависимости от вида производства и требуемой точности наиболее широкое применение имеют четыре основные группы червячных фрез: цельные фрезы со шлифованным профилем, сборные фрезы с поворотными вставными рейками, цельные затылованные фрезы с нешлифованным профилем повышенной точности и твердосплавные червячные фрезы.

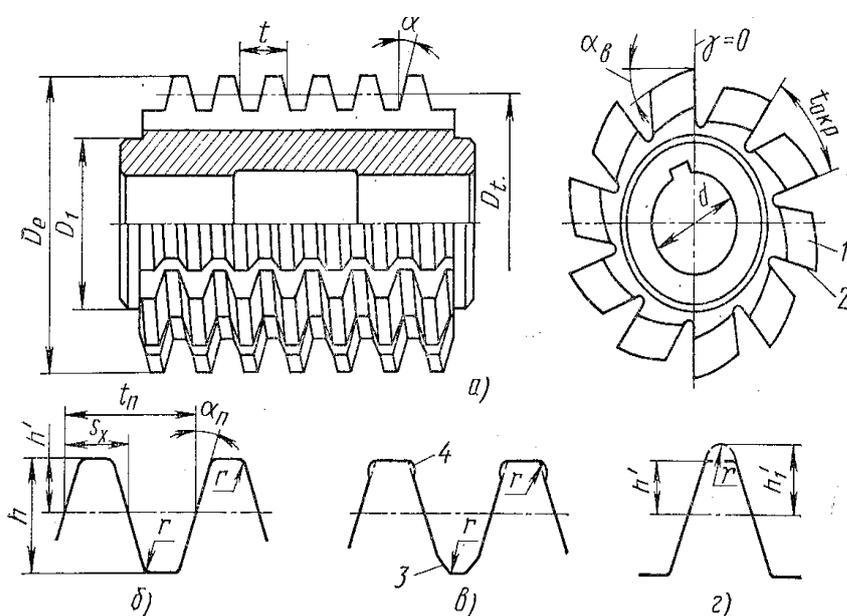


Рис. 3. Червячная фреза цельная:

a - общий вид фрезы; *б*, *в*, *г* - профиль зуба фрезы в нормальном сечении; D_e - наружный диаметр; D_t - делительный диаметр; t - осевой шаг; t_n - нормальный шаг; $t_{окр}$ - окружной шаг фрезы; S_x - толщина зуба; h - высота зуба; h' - высота головки; D_r - диаметр контрольного буртик

Цельные фрезы со шлифованным профилем применяют для обработки высокоточных цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями, червячных колес, шлицев и зубчатых колес в единичном и серийном

производстве. Чистовые червячные фрезы изготавливают по ГОСТ 9324-80Е. Точность изготовления червячных фрез различная. Фрезы самой высокой точности класса АА предназначены для обработки зубчатых колес 7-й степени точности (ГОСТ 1643-81) с модулем 1-10 мм. Цельные чистовые червячные фрезы общего назначения классов точности А , В и С используют для обработки колес с модулем 1-14 мм. Черновые червячные фрезы изготавливают с пониженной точностью, в большинстве случаев с нешлифованным профилем зубьев. Цельные фрезы с модулем примерно до 10 мм имеют небольшие длину и наружный диаметр. У фрез этой группы длина фрезы практически равна наружному диаметру. Цельные фрезы, как правило, изготавливают однозаходными.

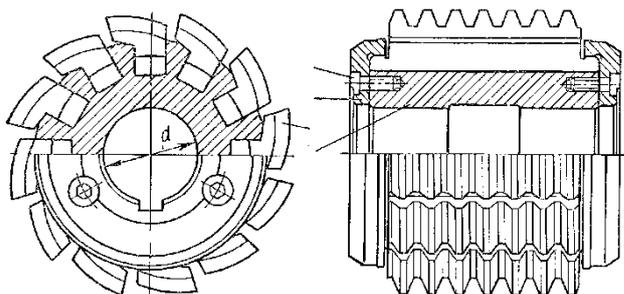


Рис. 4. Червячная фреза с поворотными вставными рейками

Червячные фрезы с поворотными вставными рейками применяют главным образом в условиях массового производства. Эти фрезы имеют большую длину реек (до 200 мм), количество заходов 2-3, повышенную твердость реек (HRC 66-68), ширина зуба рейки увеличена до 20--25 мм, количество реек колеблется в пределах 10-17. Наблюдается тенденция к увеличению наружного и внутреннего диаметров.

4. Зажимные приспособления

Основное назначение зажимных приспособлений удерживать зубчатое колесо точно и устойчиво во время зубообработки и контроля. Поэтому зажимные приспособления должны иметь достаточную жесткость, высокую точность размеров установочных поверхностей (отверстий, шеек и опорных торцов), не иметь чрезмерного вылета (консоли), свободно сидящих втулок и множества посадок. Если позволяет форма и размер заготовки, при зубонарезании нужно использовать те базовые поверхности, которые обеспечивают надежный зажим заготовки в процессе резания. При установке на зубофрезерном станке (рис. 6) биение установочных поверхностей приспособления шейки *B* и торца *T* не должно превышать 0,01-0,015 мм, а для прецизионных зубчатых колес - 0,005 мм.

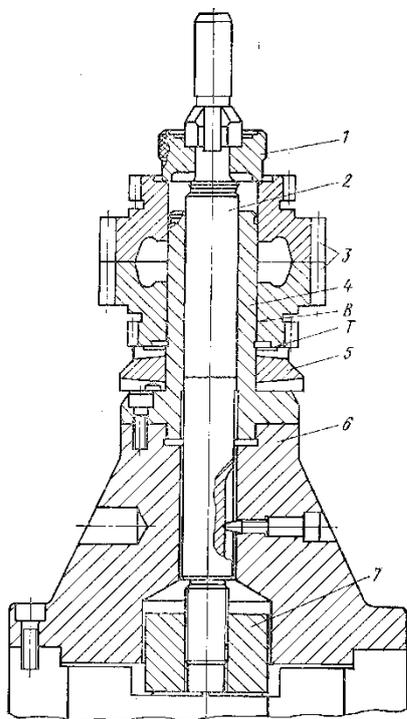


Рис. 6 Приспособление для закрепления двух цилиндрических колёс на зубофрезерном станке

На рис. 6 показано зажимное приспособление, устанавливаемое на стол зубофрезерного станка, для нарезания одновременно двух цилиндрических зубчатых колес-дисков. Зубчатые колеса 3 базируются по отверстию и торцам зубчатого венца, а центрируют по втулке 4 с опорой на кольцо 5. Заготовки в приспособлении зажимают с помощью гидроцилиндра через соединительную муфту 7, тягу 2 и прижимную крышку 1. Крышка имеет шпоночные пазы; при зажиме ее надевают через шлицы тяги 2 и поворачивают на небольшой угол. При опускании тяги торцы шлицев, опираясь на крышку, зажимают заготовки. Втулка 4 закреплена на массивной чугунной тумбе 6. Это зажимное приспособление универсального типа можно использовать для широкого диапазона зубчатых колес, заменяя втулку 4, кольцо 5 и прижимную крышку 1. Оно обеспечивает точное и жесткое крепление заготовок.

Зубчатые колеса-валы небольших размеров обрабатывают от центровых фасок, вращение заготовке передается от шпинделя станка через хомутик или специальные острые стержни, которые внедряются в торец заготовки и передают вращение.

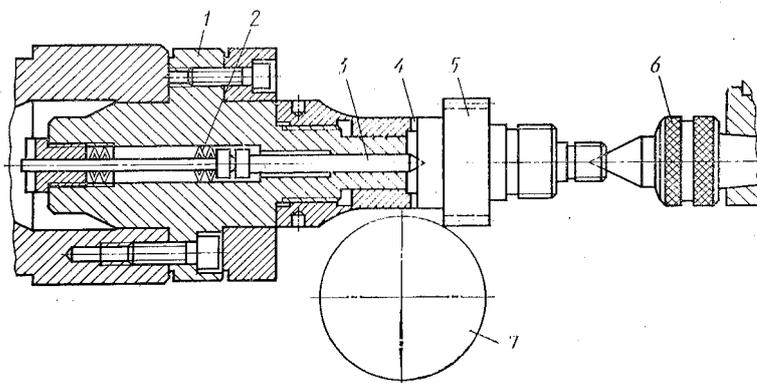


Рис. 38. Приспособление для закрепления колеса-вала на зубофрезерном автомате

Приспособление такого типа, показанное на рис. 7, применяют на горизонтальном зубофрезерном автомате. Заготовку 5 устанавливают в центрах 3, 6 на фаски центровых отверстий. Правый центр 6 перемещает заготовку 5 влево, ее торец внедряется в острые стержни 4, посредством которых осуществляется вращение заготовки в процессе резания червячной фрезой 7. Левый центр 3 подпружинен пружиной 2. Поверхность 1 служит для выверки правильности установки приспособления в шпиндель станка. Колеса-валы с модулем свыше 5 мм базируют и зажимают за шейку в цанговом или кулачковом патроне.

^ 5. Зубофрезерные станки и их основные технические характеристики

Зубофрезерные станки выпускают двух типов: универсальные и производственные.

Универсальные станки имеют широкие технологические возможности, при небольшой специализации на них можно изготавливать зубчатые колеса с конусными и бочкообразными зубьями и червячные колеса. Эти станки в основном используют в мелкосерийном и серийном производстве. Для сокращения времени наладки современные зубофрезерные станки изготавливают с ЧПУ (числовым программным управлением).

Производственные станки используют для работы в крупносерийном и массовом производстве. Современные станки этой группы имеют высокую статическую и динамическую жесткость за счет повышенной массы (1,21,5 Т на модуль), точную и короткую кинематическую цепь, повышенную мощность главного электродвигателя (1,8-2,5 кВт на модуль). У этих станков

длинные и широкие направляющие, гидростатические подшипники в ответственных узлах, шариковые винты с гайкой для осуществления подач, большая длина осевого перемещения фрезы (160-180 мм), обильное охлаждение (200400 л/мин), хорошие условия отвода теплоты и вытяжные устройства для отвода масляного тумана, образующегося при резании.

Станки позволяют работать на повышенных режимах

резания: $u=60-80$ м/мин и подаче $S_0=3-6$ мм/об с применением многозаходных фрез.

В зависимости от расположения оси обрабатываемой детали зубофрезерные станки разделяют на станки с вертикальной и горизонтальной компоновкой. В современных станках с вертикальной компоновкой стол с заготовкой неподвижен, по горизонтальным направляющим перемещается левая стойка с червячной фрезой. Станки с неподвижным столом удобны и надежны для автоматизации и встраивания в автоматические линии. Обеспечивается высокая жесткость системы: стол, магазин, заготовка и постоянный уровень расположения заготовки при загрузке и разгрузке.

Горизонтальные станки имеют две модификации. Для обработки зубчатых колес малого модуля станки имеют замкнутую рамную конструкцию с широким фрезерным суппортом, хорошую доступность зажимных элементов и инструмента. Станки удобны для автоматизации, положение заготовки при загрузке и разгрузке постоянное. Другая группа станков предназначена для нарезания зубьев и шлицев на длинных и тяжелых валах. Для удобства загрузки и разгрузки заготовки суппорт с режущим инструментом расположен сзади детали.

При выборе нового зубофрезерного станка для массового производства

необходимо создать резерв мощности и жесткости, выбирая станок с наибольшим модулем на 2-4 мм выше, чем модуль обрабатываемого колеса.