

Д.П. МЕРЧАНСКИЙ

ЗУБОРЕЗНОЕ ДЕЛО



ЗУБОРЕЗНОЕ ДЕЛО

Д. П. МЕРЧАНСКИЙ

ЗУБОРЕЗНОЕ ДЕЛО

Издание второе,
переработанное и дополненное



ИЗДАТЕЛЬСТВО „МАШИНОСТРОЕНИЕ“
ЛЕНИНГРАД 1969

Книга знакомит с основными элементами зубчатых колес и их назначением в передаточных механизмах машин. Рассматриваются методы зубообработки цилиндрических, конических и червячных колес, конструкции режущих инструментов, режимы резания. Приводятся описания наиболее распространенных зуборезных станков и способы их настройки, а также средства и методы контроля зубчатых колес.

Во втором издании приведены сведения о современных моделях станков и примеры их настройки.

Книга предназначена для рабочих и мастеров зуборезных участков. Она может быть использована учащимися профессионально-технических училищ.

Рецензент канд. техн. наук *Е. Г. Гинзбург*

Редактор инж. *А. Б. Клевцов*

3—12—4
404—68

Диомид Павлович Мерчанский

ЗУБОРЕЗНОЕ ДЕЛО

Редактор издательства *Т. Л. Лейкина*

Технический редактор *А. А. Бардина*

Корректор *З. С. Николаева*

Сдано в производство 18/VI 1968 г. Подписано к печати 16/XI 1968 г. М-16703

Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Печ. л. 14. Уч.-изд. л. 13,8 Тираж 35 000 экз.

Заказ 2160 Цена 62 коп.

Ленинградское отделение издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР. Ленинград, ул. Монсенко, 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами ХХІІІ съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1965—1970 гг. предусматривается дальнейший рост машиностроительной промышленности при высоком качестве выпускаемой продукции и повышении производительности труда.

Для выполнения задач, поставленных перед машиностроительной промышленностью, потребуется изготовить огромное количество различных машин и механизмов. В связи с этим значительно возрастает потребность в зубчатых колесах, которыми снабжены большинство машин и приборов.

Производство зубчатых колес является одной из сложных и трудных областей машиностроения, требующей большой производственной культуры и специальных знаний по теории зацепления, резанию металлов, металловедению, технологии машиностроения.

Зуборезчику необходимо знать, как устроен и работает станок, разбираться в геометрии зуборезного инструмента и режимах резания, средствах и методах измерения и контроля зубчатых колес и т. д.

В книге в сжатой форме приводятся сведения об устройстве и принципе работы современных зуборезных станков, о прогрессивных методах обработки, средствах и методах контроля зубчатых колес, приводятся примеры расчета настройки и наладки станков.

Автор

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- a_c — коэффициент среза головки зуба
- A — межосевое расстояние
- A_0 — межосевое расстояние в нулевой передаче
- b — ширина венца зубчатых и червячных колес
- $d_0 = 2r_0$ — диаметр основной окружности
- d_d — диаметр делительной окружности
- $D_s = 2R_s$ — диаметр окружности выступов зубчатого колеса (червяка)
- $D_i = 2R_i$ — диаметр окружности впадин зубчатого колеса (червяка)
- f_0 — коэффициент высоты головки зуба
- h — высота головки зуба
- h'' — высота ножки зуба
- h_g — глубина захода
- i — передаточное число (передаточное отношение, равное или большее единицы)
- m — модуль зацепления
- m_s — модуль зацепления в торцовом сечении зубьев (торцовый модуль), осевой модуль червяка
- m_n — модуль зацепления в нормальном сечении зубьев (нормальный модуль)
- L_e — наибольшая длина образующей делительного конуса конического зубчатого колеса
- S_d — толщина зуба на дуге делительной окружности
- z_1 — число зубьев шестерни и число заходов червяка
- z_2 — число зубьев колеса и червячного колеса
- z_c — суммарное число зубьев пары колес
- α_d — профильный угол исходного контура рейки
- α_s — угол зацепления в торцовом сечении
- β — угол наклона зуба конического зубчатого колеса на средней длине образующей начального конуса
- β_d — угол наклона зуба цилиндрического колеса на делительном цилиндре
- γ — угол ножки зубьев конических колес
- e_s — коэффициент торцового перекрытия
- ξ — коэффициент смещения исходного контура, отнесенный к торцовому модулю
- φ — угол начального конуса конического зубчатого колеса
- ψ — коэффициент обратного сдвига

Для обозначения величин, относящихся к шестерне и к колесу, введены индексы: 1 — для шестерни, 2 — для колеса.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Зубчатой передачей называется механизм, предназначенный для передачи вращательного движения или для преобразования его в поступательное; при этом передача движения осуществляется с помощью зубчатых колес.

Зубчатое колесо, передающее вращение, называется *ведущим*, а приводимое во вращение, — *ведомым*.

Зубчатые передачи содержатся в большинстве современных машин и приборов. Широкое распространение они получили благодаря тому, что могут передавать большие мощности, обеспечивают постоянство передаточного отношения, плавность движения, высокий коэффициент полезного действия (к. п. д.) и т. д.

С помощью зубчатых передач можно передавать вращение между параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями. В случае параллельных осей передача вращения осуществляется цилиндрическими зубчатыми колесами. Передача с такими колесами может осуществляться при внешнем и при внутреннем зацеплении. Передачи с внутренним зацеплением имеют ряд ценных свойств. Их нагрузочная способность выше, чем у передач с внешним зацеплением при равных кинематических возможностях. Оба колеса передачи с внутренним зацеплением имеют одинаковое направление вращения и др.

Зубья цилиндрических колес бывают прямыми, косыми или шевронными (рис. 1, а). Косозубые колеса могут иметь правое или левое направление наклона зубьев. Ввиду наклона зубьев в передачах с косозубыми колесами увеличиваются плавность вращения колес и нагрузочная способность передачи. Недостатком косозубых колес является возникновение при передаче вращения осевых усилий. В шевронных колесах сохранены преимущества косозубых, но осевые усилия благодаря противоположному направлению наклона зубьев на каждой половине зубчатого венца оказываются уравновешенными.

Частным случаем зубчатой передачи с цилиндрическими колесами является зубчато-реечная передача (рис. 1, б). Рейку можно рассматривать, как участок венца зубчатого колеса при бесконечном увеличении диаметра последнего.

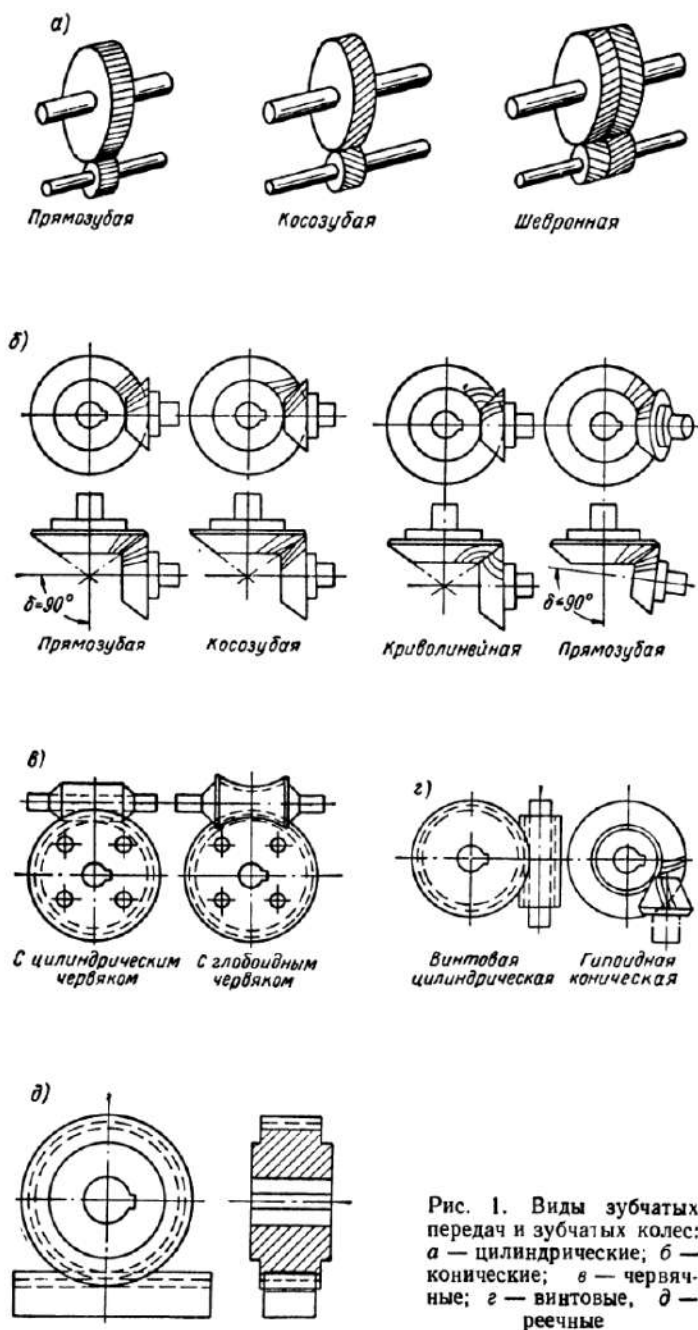


Рис. 1. Виды зубчатых передач и зубчатых колес:
а — цилиндрические; б — конические; в — червячные; г — винтовые, д — реечные

Передачи с коническими зубчатыми колесами применяются при валах, оси вращения которых расположены в одной плоскости и пересекаются. Конические колеса выполняются с прямыми, косыми (тангенциальными) и криволинейными (круговыми, поллоидными и др.) зубьями (рис. 1, б).

Для передачи вращения между перекрещивающимися осями наибольшее распространение имеют винтовые (с цилиндрическими колесами), червячные (с цилиндрическим и глобоидным червяком) и гипонидные передачи (рис. 1, в, г). Винтовые передачи с цилиндрическими колесами дешевы и просты в изготовлении, но обладают низкой нагрузочной способностью и как силовые используются редко. Червячные передачи находят широкое применение в приводах различных машин и особенно там, где требуется получить точные плавные перемещения. Гипонидные передачи широко используются в главных приводах транспортных машин.

Важной характеристикой любой зубчатой передачи является передаточное отношение i , которое связывает скорости вращения ведущего и ведомого звеньев передачи

$$i_{1-2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (1)$$

Здесь n_1 и n_2 — скорости вращения соответственно ведущего и ведомого валов в об/мин.

Если $i_{1-2} > 1$, то передача называется *редуктором*, а передаточное отношение обозначают без нижнего индекса i и называют его *передаточным числом*. При $i_{1-2} < 1$ передача называется *ускорителем* или *мультипликатором*.

2. ПЕРЕДАЧИ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПРЯМОЗУБЫМИ КОЛЕСАМИ

Зацепление в передачах. Основные параметры зацепления

Передача вращательного движения и мощности между параллельными валами в простейшем случае может быть осуществлена двумя гладкими, прижатыми друг к другу цилиндрическими катками (рис. 2, а). Такая передача называется *фрикционной*.

В этой передаче при достаточной силе радиального прижатия катков они вращаются с одинаковыми окружными скоростями. Практически в фрикционной передаче всегда имеет место проскальзывание катков, в силу чего окружные скорости их вращения несколько отличаются.

В силовых фрикционных передачах для создания достаточной силы трения в точке контакта катков необходимо их прижатие осуществлять с большей силой, при этом в зоне контакта возникают значительные давления. Таким образом, нагрузочная способность фрикционных передач ограничена.

Использование вместо гладких катков зубчатых колес (рис. 2, б) позволяет передачу движения производить не за счет сил трения, а путем зацепления зубьев.

Передачи зацеплением — *зубчатые передачи* — обладают более высокой нагрузочной способностью, чем фрикционные.

Постоянство передаточного отношения — одно из основных требований, предъявляемых к зубчатой передаче.

Рассмотрим зацепление зубьев колес и выясним, какие профили должны иметь эти зубья в плоскостях, перпендикулярных осям колес, чтобы обеспечить постоянство передаточного отношения в течение зацепления каждой пары зубьев.

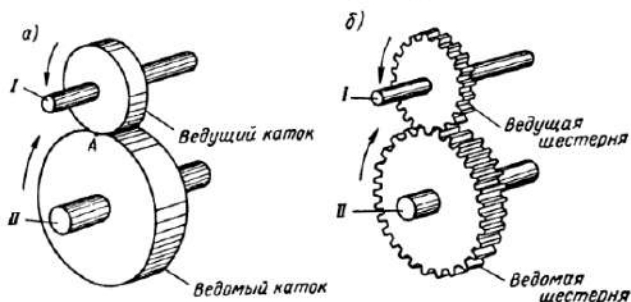


Рис. 2. Передача вращательного движения от вала I к валу II

Согласно основному закону зацепления профили зубьев должны быть таковы, чтобы общая нормаль в точках их соприкосновения в любой момент зацепления проходила бы через одну и ту же постоянную точку, лежащую на линии центров колес. Эта точка должна делить линию центров на отрезки, длина которых обратно пропорциональна угловым скоростям колес. Такая точка называется *полусом зацепления* (рис. 3). Окружности r_1 и r_2 , проведенные из центров колес через полюс зацепления, называются *начальными* и касаются между собой. Скорости точек, лежащих на начальных окружностях, при вращении колес равны:

$$v_1 = v_2; \quad (2)$$

при этом

$$v_1 = \frac{2\pi r_1 n_1}{60}; \quad v_2 = \frac{2\pi r_2 n_2}{60}.$$

На основании равенства (2) будем иметь $\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1}$.

В фрикционной передаче радиусы катков равны радиусам начальных окружностей r_1 и r_2 .

Зная закон зацепления, можно решить задачу о подборе сопряженных профилей. Эта задача имеет множество решений. Однако в случае эксплуатации зубчатых колес пригодны не любые

сопряженные профили. Помимо условия правильного зацепления к профилям предъявляют еще ряд требований, из которых главным является технологичность их изготовления. Наиболее технологичными являются профили, очерченные по эвольвенте окружности.

Эвольвентой называют кривую, описываемую на неподвижной плоскости точкой натянутой гибкой нити, разматываемой с окружности, имеющей радиус r_0 . Эта окружность называется *основной*. Как видно из рис. 4, нормаль к эвольвенте совпадает с натянутой нитью

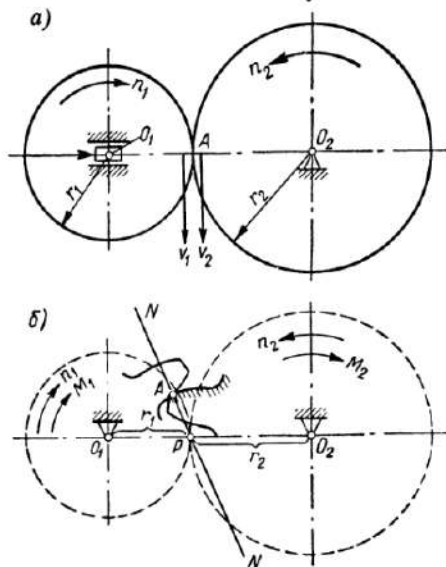


Рис. 3. Передачи: а — фрикционная; б — зубчатая

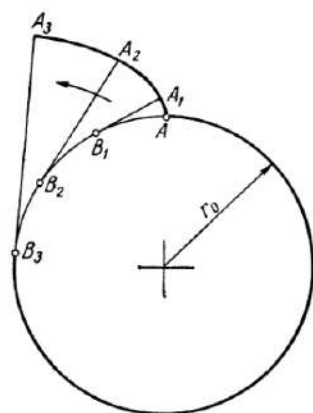


Рис. 4. Образование эвольвенты при помощи нити, разматываемой с окружности

и касательна к основной окружности. Каждой основной окружности соответствует определенная эвольвента. Точки разматываемой нити, находящиеся друг от друга на некотором расстоянии, описывают одинаковые эвольвенты. Для основной окружности бесконечно большого радиуса эвольвента обращается в прямую линию.

Рассмотрим схему эвольвентного зацепления (рис. 5). Центры колес O_1 и O_2 расположены на линии центров; расстояние между ними называется *межцентровым* (межосевым) расстоянием. Через полюс зацепления P проведены радиусы начальных окружностей r_1 и r_2 . На основании закона зацепления общая нормаль к эвольвентным профилям должна проходить через полюс зацепления, а нормали к эвольвентам должны быть касательны основным окружностям, поэтому на рис. 5 основные окружности касаются одной и той же прямой линии, проходящей через полюс зацепления. Эта линия — общая касательная к основным

окружностям — является геометрическим местом касания двух находящихся в зацеплении эвольвентных профилей зубьев при вращении колес и поэтому называется *линией зацепления*. Угол между линией зацепления и прямой $T-T$ называется *углом зацепления*. Эвольвентные профили зубьев ограничиваются окружностями выступов колес R_{e1} и R_{e2} . Окружности впадин R_{i1} и R_{i2} проведены так, чтобы между выступами зубьев одного из колес и впадинами другого был радиальный зазор. Окружности выступов пересекают линию зацепления в точках M_1 и M_2 . Отрезок M_1M_2

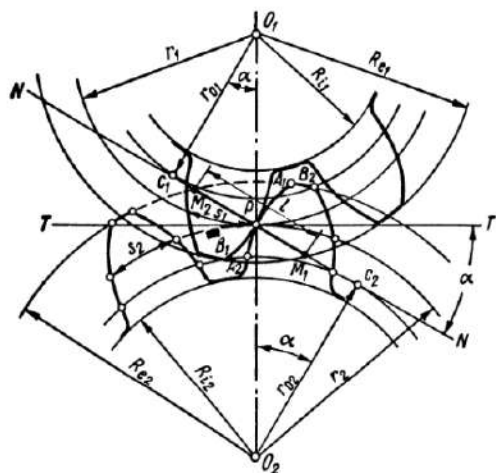


Рис. 5. Построение эвольвентного зацепления

называют *рабочим участком* линии зацепления. Аналогичным образом можно было бы выполнить построение схемы внутреннего эвольвентного зацепления. Для того чтобы обеспечивалась непрерывность вращения колес необходимо чтобы до выхода из зацепления одной пары зубьев в зацепление вошла следующая пара. Это достигается за счет того, что расстояние по нормали между одноименными профилями соседних зубьев t_n должно быть меньше длины рабочего участка линии зацепления M_1M_2 .

Коэффициентом торцового перекрытия e_s называется число, по которому можно судить о наибольшем и наименьшем количестве пар прямых зубьев, находящихся в одновременном зацеплении.

Если, например $e_s = \frac{M_1M_2}{t_n} = 1,3$, т. е. $1 < e_s < 2$, то максимальное число пар зубьев, находящихся в зацеплении, одновременно составляет две пары, а минимальное — одну пару; так как число 1,3 ближе к 1, то продолжительность зацепления одной пары будет больше, чем двух пар. Для передач с внешним зацеплением и стандартными параметрами $e_s < 2$ в передачах с внутренним зацеплением может иметь место $2 < e_s < 3$.

В зубчатых колесах расстояние между одноименными профилями зубьев зависит от того, вдоль какой окружности оно измеряется. Шаг зубьев t по любой окружности определяется делением длины окружности на число зубьев: $t = \frac{2\pi r}{z}$.

Так как в величину шага входит трансцендентное число $\pi = 3,14159 \dots$, не выражаемое конечной дробью, то самый шаг

не может быть выражен рациональным числом. Это неудобно, поэтому стандартизуется не шаг зубьев, а величина, равная $\frac{t}{\pi}$ и называемая *модулем зацепления*.

Значения модулей стандартизованы, ГОСТ 9563—60 устанавливает размерный ряд модулей от 0,05 до 100 мм. Этот ГОСТ распространяется на передачи с цилиндрическими и коническими колесами, а также на червячные передачи.

В дюймовой системе стандартизованным параметрам, характеризующим шаг зубьев, является величина, обратная модулю, — диаметральный питч $P = \frac{z}{d_d}$.

Модуль и диаметральный питч связаны зависимостью $m = \frac{25,4}{P}$.

Выше были рассмотрены свойства и основные параметры эвольвентного зацепления, имеющего почти исключительное применение в современном машиностроении. Помимо эвольвентного в приборостроении применяют циклоидальное зацепление с профилями зубьев, очерченными по циклоидальным кривым. Для грубых колес с литыми механически не обрабатываемыми зубьями применяют упрощенное зацепление с профилями зубьев, очерченными по дугам окружностей.

В последнее время получают распространение передачи М. Л. Новикова с точечным зацеплением и профилями зубьев, выполненными в форме дуг окружностей. За счет выгодной формы контакта зубьев нагрузочная способность передач М. Л. Новикова оказывается в 1,5—2 раза выше, чем передач с эвольвентным зацеплением при одинаковых размерах и прочности материала. Цилиндрические колеса передач М. Л. Новикова показаны на рис. 6.

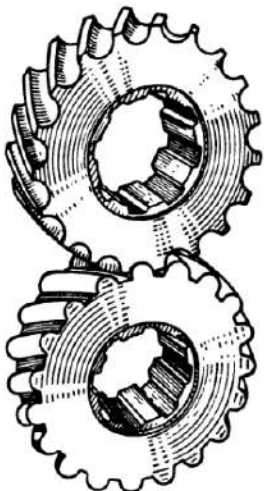


Рис. 6. Зубчатые колеса с зацеплением М. Л. Новикова

Исходный контур зубчатых колес

Если в зубчатой передаче (см. рис. 5) радиус основной окружности одного из колес r_{o2} увеличивать до бесконечности, сохраняя соотношение $r_{o2} = r_2 \cos \alpha_s$, то радиус начальной окружности r_s и радиус кривизны эвольвенты в точке P также будут стремиться к бесконечности. При этом зубчатое колесо обратится в зубчатую рейку с прямолинейными профилями зубьев, имеющими угол профиля α , а начальная окружность колеса обратится в начальную прямую рейки. Такая зубчатая рейка в любом сечении, параллельном начальной прямой, будет иметь одинаковый шаг зубьев.

Зубчатая рейка является частным случаем колеса, и зацепление ее зубьев с зубьями сопрягаемого колеса подчиняется общим закономерностям эвольвентного зацепления. Прямолинейность профилей зубьев рейки позволяет осуществлять технологичный способ нарезания зубьев колес для передач с эвольвентным зацеплением методом обкатки с использованием в качестве режущего инструмента зубчатой режущей рейки и воспроизведением зацепления этой рейки (инструмента) с зубчатым колесом.

ГОСТ 3058—54 для зубчатых колес с модулями более 1 мм и ГОСТ 9587—61 для зубчатых колес с модулем до 1 мм стандарти-

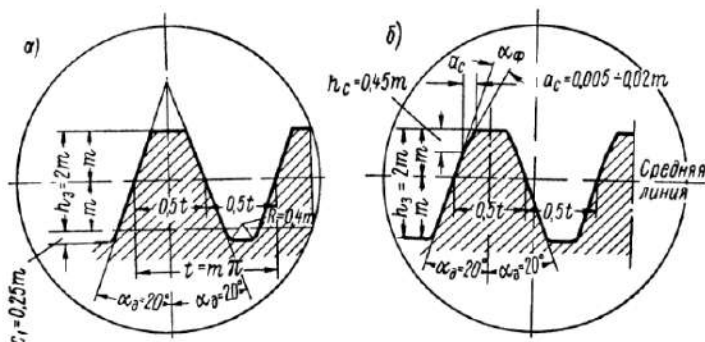


Рис. 7. Профили зубчатой рейки: а — исходный; б — фланкированный

зуют исходный контур цилиндрических и конических зубчатых колес, под которым подразумевается контур плоской зубчатой рейки. Согласно ГОСТу 3058—54 контур характеризуется (рис. 7) углами профиля $\alpha_g = 20^\circ$, глубиной захода $h_g = 2m$ и радиальным зазором $0,25m$.

На расстоянии, равном модулю, от вершины зубьев рейки проходит *средняя линия*. Вдоль средней линии толщина зубьев равна ширине впадин. Шаг зубьев рейки вдоль любой линии, параллельной средней, равен $t = m\pi$.

Для быстроходных зубчатых передач с модулем зацепления $m \geq 2$ применяется исходный контур со срезом. Образование срезов на головках зубьев называется *фланкированием*. Фланкирование позволяет уменьшить удары при входе зубьев в зацепление. Эти удары возникают из-за изменения шагов вследствие деформации зубьев под нагрузкой. В зависимости от назначаемой степени точности колес и модуля зацепления глубина среза принимается равной $a_c = (0,005 \div 0,02) m$ на глубине $h_c = 0,45m$.

Рейка, у которой зубья очерчены по впадинам исходного контура, называется *рабочей* или *инструментальной* рейкой. Зубья рабочей рейки при введении во впадины зубчатого колеса образуют зацепление без радиального зазора. Зацепление рабочей рейки

и зубчатого колеса называют *станочным*; такое зацепление получается между реечным инструментом (гребенкой, червячной фрезой) и нарезаемым колесом на зуборезном станке.

При зацеплении зубчатого колеса с рейкой, имеющей одинаковые шаги зубьев вдоль любой прямой, параллельной средней линии, только на одной из окружностей шаг зубьев колеса будет равен шагу зубьев рейки. Эта окружность называется *делительной окружностью*. Диаметр делительной окружности равен

$$d_{\partial} = \frac{tz}{\pi} = \frac{\pi mz}{\pi} = mz. \quad (3)$$

В зацеплении с рейкой начальная и делительная окружности совпадают. Для отдельно взятого зубчатого колеса понятие начальная окружность существовать не может.

Зная диаметр делительной окружности можно определить радиус основной окружности колеса

$$r_o = \frac{d_{\partial}}{2} \cos \alpha_{\partial}.$$

Аналогичным образом связаны между собой шаг по основной t_o и по делительной окружности t :

$$t_o = t \cos \alpha_{\partial}.$$

Корригирование зацепления

При образовании зубьев способом обкатки можно за счет изменения положения и относительного движения инструмента и заготовки существенным образом влиять на свойства зацепления в передаче. Этот метод воздействия на свойства зубчатой передачи называется *корригированием*. Этим методом можно исключить подрезание зубьев, повысить их контактную и изломную прочность, уменьшить износ. За счет корригирования удастся влиять на величину коэффициента перекрытия, а также вписывать передачу в заданное межосевое расстояние.

Подрезание имеет место при нарезании способом обкатки малого числа зубьев и заключается в том, что головка зуба инструмента при выходе из зацепления утоняет ножку зуба нарезаемого колеса (рис. 8).

При обработке профилей зубьев на станках способом обкатки инструментом реечного типа средняя линия рабочей рейки может занимать различные положения относительно делительной окружности нарезаемого колеса. Возможны два случая расположения средней линии рабочей рейки:

а) средняя линия совпадает с касательной к делительной окружности (рис. 9, а);

б) средняя линия смещена относительно касательной к делительной окружности (рис. 9, б, в).

В первом случае будет нарезаться некорригированное колесо, во втором — корригированное. Смещение исходного контура, направленное от оси колеса (рис. 9, б), считается положительным, а обработанное колесо — корригированным с положительным смещением. Смещение исходного контура, направленное к оси колеса (рис. 9, в), считается отрицательным, а обработанное колесо — корригированным с отрицательным смещением.

Корригированные колеса изготавливаются стандартным инструментом на том же оборудовании и при тех же настройках, что и

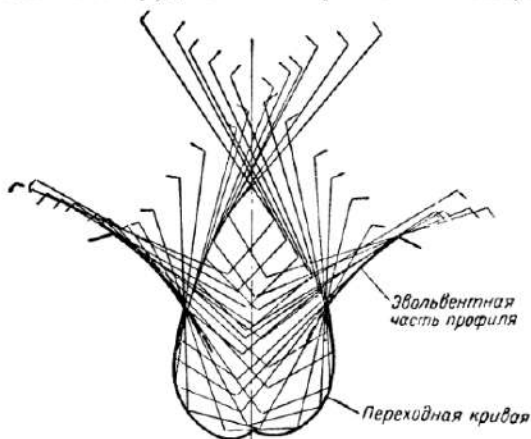


Рис. 8. Подрезание зубьев инструментом реечного типа

некорригированные колеса. Для колес с внутренними зубьями, которые не могут обрабатываться инструментальной рейкой, понятие *смещение исходного контура* является условным.

Смещение исходного контура обозначается через x и определяется расстоянием между делительной окружностью колеса и средней линией исходного контура. Коэффициентом смещения называется величина

$$\xi = \frac{x}{m}. \quad (4)$$

Корригированная зубчатая передача характеризуется суммарным коэффициентом смещения

$$\xi_c = \xi_2 \pm \xi_1, \quad (5)$$

где ξ_1 и ξ_2 — коэффициенты смещения соответственно для шестерни и колеса.

Применяют два вида коррекции зубчатых передач — высотную и угловую. Если зубья шестерни и колеса нарезаны со смещением исходного контура, равным по величине, но противополож-

ным по знаку, то суммарный коэффициент смещения $\xi_c = 0$, а передачу называют *передачей с высотной коррекцией*. Межосевое расстояние и угол зацепления в такой передаче остаются такими же, как и у некорректированной; изменяются лишь высотные пропорции зубьев, а следовательно, окружности выступов и впадин колес.

Если суммарный коэффициент смещения ξ_c не равен нулю, то такие передачи называют *передачами с угловой коррекцией*. У них изменяются межосевое расстояние, угол зацепления и высотные пропорции зуба.

Относительное смещение осей корригированной и некорригированной передач

$$a = \frac{A - A_0}{m}, \quad (6)$$

где A — заданное межосевое расстояние;

$A_0 = 0,5mz_c$ — межосевое расстояние некорригированной передачи.

Суммарное число зубьев передачи равно

$$z_c = z_2 \pm z_1. \quad (7)$$

В формулах (5) и (7) верхний знак относится к внешнему, а нижний — к внутреннему зацеплению.

Для передач с угловой коррекцией суммарное смещение исходного контура для шестерни и колеса $x_c = \xi_c m$ не равно изменению межосевого расстояния $A - A_0 = am$ [6]

Разность между величинами x_c — am называют обратным сдвигом, а отношение обратного сдвига к модулю — *коэффициентом обратного сдвига* ψ

$$\psi = \frac{x_c - am}{m} = \xi_c - a. \quad (8)$$

Коэффициент обратного сдвига — величина положительная.

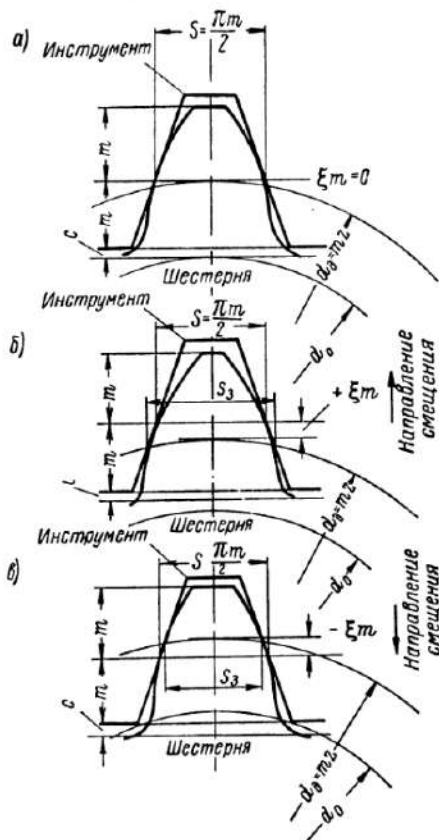


Рис. 9. Профили зубьев колес: а — некорригированных $\xi = 0$; б — корригированных $\xi > 0$; в — корригированных $\xi < 0$

Межосевое расстояние скорректированной и нескорректированной передач связаны зависимостью

$$A = A_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}, \quad (9)$$

где α_0 — угол профиля исходного контура;

α — угол зацепления скорректированной передачи.

Учитывая формулы (6), (8) и (9), величина относительного смещения осей скорректированной и нескорректированной передач может быть выражена равенством

$$a = 0,5z_c \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha} - 1 \right). \quad (10)$$

Угол зацепления при заданном ξ_c определяется по формуле

$$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{inv} \alpha_0 + \frac{2\xi_c}{z_c} \operatorname{tg} \alpha_0; \quad (11)$$

$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$ — эвольвентная функция угла зацепления (инволюта).

Значение $\operatorname{inv} \alpha$ приводится для различных углов α в справочных руководствах. $\operatorname{inv} 20^\circ = 0,014904$.

Геометрические параметры прямозубых цилиндрических зубчатых колес

Размеры зубчатых колес находятся на основании прочностных и кинематических расчетов в зависимости от принятых параметров исходного контура.

Рассмотрим основные геометрические параметры (рис. 10) зубчатых колес и зубьев, определяющие размеры колес. Высота

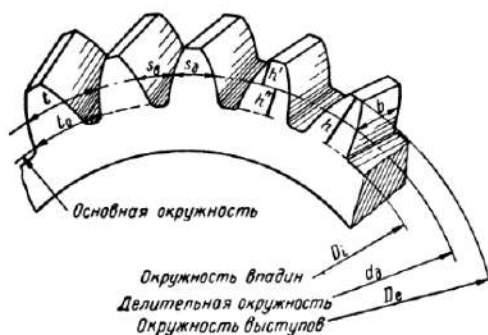


Рис. 10. Элементы цилиндрического прямозубого колеса

зубьев для стандартного исходного контура (при $m = 1$ мм) $h = 2,25$. В зубчатой передаче различают ножки и головки зубьев. Ножки располагаются между начальными окружностями впадин зубьев, а головки — между начальными окружностями выступов. Ножки и головки работают в различных условиях, в связи с чем обладают различной нагрузочной способностью.

В нескорректированных передачах делительные окружности совпадают с начальными, и высота ножки h'' определяется разностью радиусов окружностей делительной и впадин, а высота

Таблица 1

Формулы и пример геометрического расчета передачи с прямозубыми некорригированными цилиндрическими колесами

Наименование элемента		Обозначение	Формула расчета	Пример
Модуль		m	Выбирается из нормального ряда ГОСТа 9563—60	3
Число зубьев	шестерни колеса	z_1 z_2	Выбирается конструктивно	20 45
Диаметры делительных окружностей шестерни и колеса		d_{d1} d_{d2}	$d_{d1} = mz_1$ $d_{d2} = mz_2$	$d_{d1} = 3 \cdot 20 = 60$ $d_{d2} = 3 \cdot 45 = 135$
Высота зуба		h	$h_1 = h_2 = 2,25m$	$h_1 = h_2 = 2,25 \cdot 3 = 6,75$
Диаметры окружностей выступов шестерни и колеса		D_{e1} D_{e2}	$D_{e1} = m(z_1 + 2)$ $D_{e2} = m(z_2 + 2)$	$D_{e1} = 3(20 + 2) = 66$ $D_{e2} = 3(45 + 2) = 141$
Диаметры окружностей впадин шестерни и колеса		D_{i1} D_{i2}	$D_{i1} = m(z_1 - 2,5)$ $D_{i2} = m(z_2 - 2,5)$	$D_{i1} = 3(20 - 2,5) = 52,5$ $D_{i2} = 3(45 - 2,5) = 127,5$
Толщина зуба по дуге делительной окружности		s_d	$s_d = \frac{\pi m}{2} = 1,57 m$	$s_d = 1,57 \cdot 3 = 4,71$
Межосевое расстояние		A	$A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$A = \frac{3(20 + 45)}{2} = 97,5$
Примечание. Все размеры даны в мм.				

Формулы и пример геометрического расчета прамозубых цилиндрических передач внешнего зацепления с высотной коррекцией ($\xi_1 = -\xi_2 = \xi$)

Исходные данные		Пример	Исходные данные		Обозначение	Пример
Число зубьев шестерни	z_1	12	Исходный контур (ГОСТ 3058-54 или ГОСТ 9587-61)	Угол профиля	α_0	20°
Число зубьев колеса	z_2	44		Коэффициент высоты зуба	f_0	1
Коэффициент смещения	ξ	0,48		Коэффициент радиального зазора	c_0	0,25
Расчетный элемент	Обозначение	Формулы	Пример расчета (линейные размеры в мм)			
Модуль	m	Принимается по ГОСТу 9563-60	$m = 5$			
Диаметры делительных окружностей шестерни и колеса	d_{d1} d_{d2}	$d_{d1} = mz_1$ $d_{d2} = mz_2$	$d_{d1} = 5 \cdot 12 = 60$ $d_{d2} = 5 \cdot 44 = 220$			
Межосевое расстояние	A	$A = 0,5 m (z_1 + z_2)$	$A = 0,5 \cdot 5 \cdot 12 + 44 = 140$			
Диаметры окружностей впадин шестерни и колеса	D_{i1} D_{i2}	$D_{i1} = d_{d1} - 2(f_0' + c_0 - \xi) m$ $D_{i2} = d_{d2} - 2(f_0' + c_0 + \xi) m$	$D_{i1} = 60 - 2(1 + 0,25 - 0,48) \cdot 5 = 52,30$ $D_{i2} = 220 - 2(1 + 0,25 + 0,48) \cdot 5 = 202,7$			
Диаметры окружностей выступов шестерни и колеса	D_{e1} D_{e2}	$D_{e1} = d_{d1} + 2(f_0' + \xi) m$ $D_{e2} = d_{d2} + 2(f_0' - \xi) m$	$D_{e1} = 60 + 2(1 + 0,48) \cdot 5 = 74,8$ $D_{e2} = 220 + 2(1 - 0,48) \cdot 5 = 225,2$			
Высота зуба		$h_1 = h_2 = (2f_0' + c_0) m$	$h_1 = h_2 = (2 \cdot 1 + 0,25) \cdot 5 = 11,25$			

Таблица 3

Формулы и пример геометрического расчета прямозубых цилиндрических передач внешнего зацепления с угловой коррекцией при свободном межосевом расстоянии

Исходные данные	Обозначение	Пример		Исходные данные	Обозначение	Пример
		z_1	z_2			
Число зубьев шестерни		18		Угол профиля	α_n	20°
Число зубьев колеса			32	Исходный контур (ГОСТ 3058—54 или ГОСТ 9587—61)	Коэффициент высоты зуба	f_0
Коэффициент смещения шестерни			0,82		Коэффициент радиального зазора	c_0
Коэффициент смещения колеса			0,35			0,25
Расчетный элемент	Обозначение	Формулы		Пример (линейные размеры в мм)		
Суммарное число зубьев	z_c	$z_c = z_1 + z_2$		$z_c = 18 + 32 = 50$		
Суммарный коэффициент смещения	ξ_c	$\xi_c = \xi_1 + \xi_2$		$\xi_c = 0,82 + 0,35 = 1,17$		
Угол зацепления исправленной передачи	α	$\text{inv } \alpha = 0,014904 + \frac{\xi_c}{z_c} + 0,72794 \frac{\xi_c}{z_c}$		$\text{inv } \alpha = 0,014904 + 0,72794 \frac{1,17}{50} = 0,031938$ $\alpha = 25^\circ 30'$		
Относительное смещение осей	a	$a = 0,5 z_c \left(\frac{0,93969}{\cos \alpha} - 1 \right)$		$a = 0,5 \cdot 50 \left(\frac{0,93969}{\cos 25^\circ 30'} - 1 \right) = 1,028$		

Расчетный элемент	Обозначение	Формулы	Пример (линейные размеры в мм)
Коэффициент обратного сдвига	ψ	$\psi = e_c - a$	$\psi = 1,17 - 1,028 = 0,142$
Модуль	m	Принимается по ГОСТу 9563—60	$m = 5$
Межосевое расстояние некорригированной передачи	A_0	$A_0 = 0,5mz_c$	$A_0 = 0,5 \cdot 5 \cdot 50 = 125$
Межосевое расстояние корригированной передачи	A	$A = A_0 + am$	$A = 125 + 1,028 \cdot 5 = 130,14$
Диаметры делительных окружностей шестерни и колеса	d_{a1} d_{a2}	$d_{a1} = z_1 m$ $d_{a2} = z_2 m$	$d_{a1} = 18 \cdot 5 = 90$ $d_{a2} = 32 \cdot 5 = 160$
Диаметры окружностей впадин шестерни и колеса	D_{i1} D_{i2}	$D_{i1} = d_{a1} - 2(f_0 + c_0 - \xi_1)m$ $D_{i2} = d_{a2} - 2(f_0 + c_0 - \xi_2)m$	$D_{i1} = 90 - 2(1 + 0,25 - 0,82)5 = 85,7$ $D_{i2} = 160 - 2(1 + 0,25 - 0,35)5 = 151,0$
Диаметры окружностей выступов шестерни и колеса	D_{e1} D_{e2}	$D_{e1} = d_{a1} + 2(f_0 + \xi_1 - \psi)m$ $D_{e2} = d_{a2} + 2(f_0 + \xi_2 - \psi)m$	$D_{e1} = 90 + 2(1 + 0,82 - 0,142)5 = 106,78$ $D_{e2} = 160 + 2(1 + 0,35 - 0,142)5 = 172,08$
Высота зуба	h	$h = (2f_0 + c_0 - \psi)m$	$h = (2 \cdot 1 + 0,25 - 0,142)5 = 10,54$
Примечание. ξ_1 и ξ_2 выбираются в зависимости от конструктивных требований при проектировочном расчете передачи.			

Таблица 4

Формулы и пример геометрического расчета прямозубых цилиндрических передач внешнего зацепления с угловой коррекцией при заданном межосевом расстоянии

Исходные данные	Обозначение	Пример	Исходные данные			Обозначение	Пример	
Число зубьев шестерни	z_1	24	Исходный контур (ГОСТ 3058—54 или ГОСТ 9587—61)	Угол профиля	α_0	20°		
	z_2	50		Коэффициент высоты зуба			f_0	1
	Межосевое расстояние в мм	A		150			Коэффициент радиального зазора	c^*
Расчетный элемент	Обозначение	Формулы		Пример (линейные размеры в мм)				
Суммарное число зубьев	z_c	$z_c = z_1 + z_2$		$24 + 50 = 74$				
Модуль	m	Определяется расчетом на прочность		4				
Межосевое расстояние некорригированной передачи	A_0	$A_0 = 0,5z_c m$		$A_0 = 0,5 \cdot 74 \cdot 4 = 148$				
Относительное смещение осей	a	$a = \frac{A - A_0}{m}$		$a = \frac{150 - 148}{4} = 0,5$				
Угол зацепления корригированной передачи	α	$\cos \alpha = 0,93969 \frac{A_0}{A}$		$\cos \alpha = 0,93969 \frac{148}{150} = 0,92716$ $\alpha = 22^\circ$				

Расчетный элемент	Обозначение	Формулы	Пример (линейные размеры в мм)
Суммарный коэффициент смещения	ξ_c	$\xi_c = z_c \frac{\operatorname{inv} \alpha - 0,014904}{0,72794}$	$\xi = 74 \cdot \frac{0,017345 - 0,014904}{0,72794} = 0,523$
Коэффициент обратного сдвига	ψ	$\psi = \xi_c - a$	$\varphi = 0,523 - 0,5 = 0,023$
Коэффициент смещения шестерни и колеса	ξ_1 ξ_2	ξ_1 выбирается $\xi_2 = \xi_c - \xi_1$	$\xi_1 = 0,4$ $\xi_2 = 0,523 - 0,4 = 0,123$
Диаметры делительных окружностей шестерни и колеса	d_{d1} d_{d2}	$d_{d1} = m z_1$ $d_{d2} = m z_2$	$d_{d1} = 4 \cdot 24 = 96$ $d_{d2} = 4 \cdot 50 = 200$
Диаметры окружностей впадин шестерни и колеса	D_{i1} D_{i2}	$D_{i1} = d_{d1} - 2(f_0 + c_0 - \xi_1) m$ $D_{i2} = d_{d2} - 2(f_0 + c_0 - \xi_2) m$	$D_{i1} = 96 - 2(1 + 0,25 - 0,4) 4 = 89,20$ $D_{i2} = 200 - 2(1 + 0,25 - 0,123) 4 = 190,98$
Диаметры окружностей выступов шестерни и колеса	D_{a1} D_{a2}	$D_{a1} = d_{d1} + 2(f_0 + \xi_1 - \psi) m$ $D_{a2} = d_{d2} + 2(f_0 + \xi_2 - \psi) m$	$D_{a1} = 96 + 2(1 + 0,4 - 0,023) 4 = 107,02$ $D_{a2} = 200 + 2(1 + 0,123 - 0,023) 4 = 208,8$
Высота зуба шестерни и колеса	h	$h = (2f_0 + c_0 - \psi) m$	$h = (2 \cdot 1 + 0,25 - 0,023) 4 = 8,91$
Примечание. ξ_1 при $z < 17$ выбирается из условия исключения подрезания зубьев шестерни			

Таблица 5

Формулы и пример геометрического расчета прямозубых цилиндрических колес
некорригированных передач с внутренним зацеплением при $\alpha_d = 20^\circ$, $f_0 = 1$, $m > 1$ мм

Наименование элемента		Обозначение	Формула расчета	Пример (линейные размеры в мм)
Модуль		m	Выбирается из нормального ряда ГОСТа 9563—60	3
Число зубьев	шестерни с наружными зубьями	z_1	Выбирается конструктивно	20
	колеса с внутренними зубьями	z_2		120
Диаметр делительной окружности колеса		d_{d2}	$d_{d2} = m z_2$	$d_{d2} = 3 \cdot 120 = 360$
Диаметр окружности выступов колеса		D_{e2}	$D_{e2} = d_{d2} - 2m + \frac{15,2m}{z_2}$	$D_{e2} = 360 - 2 \cdot 3 + \frac{15,2 \cdot 3}{120} = 353,62$
Высота зуба колеса		h_2	$h_2 = (2,25 + 2,35) m$	$h_2 = 2,35 \cdot 3 = 7,05$
Диаметр окружности впадин		D_{i2}	$D_{i2} = d_{d2} + 2(c_1 + m)$	$D_{i2} = 360 + 2(1,05 + 3) = 368,1$
Радиальный зазор		c	$c = (0,25 + 0,35) m$	$c = 0,35 \cdot 3 = 1,05$
Толщина зуба по дуге делительной окружности		s_{d2}	$s_{d2} = 1,57m$	$s_{d2} = 1,57 \cdot 3 = 4,71$
Межосевое расстояние		A	$A = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$	$A = \frac{3(120 - 20)}{2} = 150$
Примечания 1. Все размеры даны в мм 2. Шестерня рассчитывается по ранее приведенным формулам табл. 1.				

головки h' — разностью радиусов окружностей выступов и делительной; при этом для стандартного исходного контура

$$h' = m, \quad (12)$$

$$h'' = 1,25 m. \quad (13)$$

Вследствие разной высоты ножек и головок в передаче имеется радиальный зазор между вершинами зубьев одного колеса и дном впадин другого. Величина зазора равна

$$c = h''_1 - h'_2. \quad (14)$$

В зацеплении может быть также зазор между нерабочими сторонами зубьев; он называется *боковым зазором*. Величина бокового зазора зависит от разности между шириной впадины одного колеса и толщиной зуба другого, измеряемым по дугам начальных окружностей. Величина бокового зазора в зацеплении определяется выбранным характером сопряжения зубьев по нормам бокового зазора, устанавливаемым ГОСТом 1643—56 или 9178—59 (при $m \leq 1$ мм).

Формулы и примеры геометрического расчета передач с прямыми зубьями цилиндрическими колесами приведены в табл. 1—5.

3. ПЕРЕДАЧИ С КОСОЗУБЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КОЛЕСАМИ И ВНЕШНИМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Косозубые колеса, как указывалось выше, характеризуются наклоном зуба. Направление наклона удобно различать, расположив ось колеса вертикально, тогда при правом наклоне линия зуба имеет направление снизу вверх направо (рис. 11, а), а при левом наклоне — справа вверх налево (рис. 11, б). Угол наклона зубьев на делительном цилиндре (диаметр которого равен диаметру делительной окружности) обозначается β_d .

Косозубое колесо можно представить состоящим из большого числа соосных очень тонких прямозубых колес (рис. 12), повернутых друг относительно друга на некоторый одинаковый угол. У косозубых колес различают: торцовый шаг t_s и торцовый модуль m_s , нормальный шаг (шаг в нормальном сечении зуба) t_n и нормальный модуль m_n , осевой шаг t_a , измеряемый вдоль образующей делительного цилиндра. Существуют следующие соотношения

$$t_n = t_s \cos \beta_d; \quad (15)$$

$$t_a = t_s \operatorname{ctg} \beta_d. \quad (16)$$

Соответственно

$$m_n = m_s \cos \beta_d. \quad (17)$$

У косозубых колес стандартное значение принимает нормальный модуль, а торцовый модуль определяется по формуле

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta_d}. \quad (18)$$

Диаметр делительной окружности косозубого колеса равен

$$d_d = m_s z = \frac{m_n z}{\cos \beta_d}. \quad (19)$$

У передач с косозубыми колесами ввиду наклона зубьев в зацеплении имеет место осевое перекрытие. Коэффициент осевого перекрытия ε_a равен $\varepsilon_a = \frac{B}{t_a}$, где B — ширина зубчатого венца.

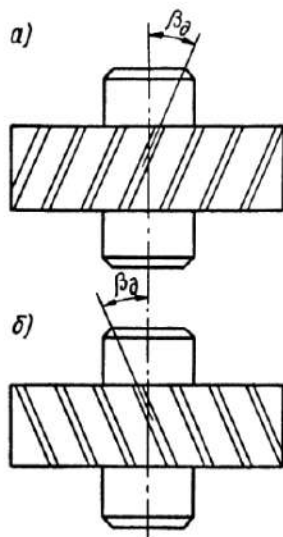


Рис. 11. Цилиндрические косозубые колеса: а — с правым наклоном зуба; б — с левым наклоном зуба

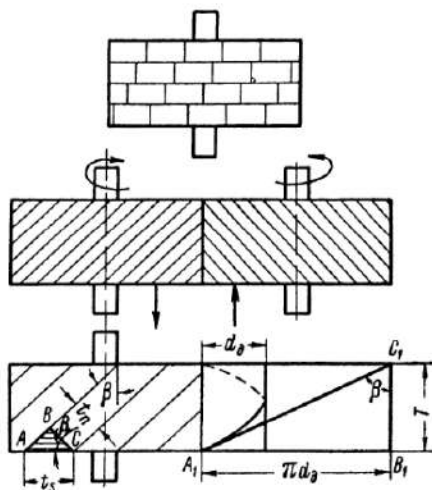


Рис. 12. Элементы косо́го зуба

Общий коэффициент перекрытия при этом будет $\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_s$.

В табл. 6 приведены формулы и пример геометрического расчета некорригированной передачи с косозубыми колесами.

Так как межосевое расстояние в передаче с косозубыми колесами определяется по формуле

$$A = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cos \beta_d},$$

то за счет изменения угла β_d при неизменном модуле m_n можно вписывать передачу в заданное межосевое значение. Величина угла наклона зубьев должна быть в пределах $7^\circ < \beta_d < 25^\circ$. У шевронных колес допускается значение $\beta_d \leq 45^\circ$.

Таблица 6

Формулы и пример геометрического расчета для цилиндрических
косозубых колес при $m_n > 1$, $\alpha_d = 20^\circ$, $f_0 = 1$

Наименование элемента		Обозначение	Формула расчета	Пример
Модуль нормальный		m_n	Выбирается по ГОСТу 9563—60	2
Число зубьев	шестерни	z_1	Выбирается конструктивно	60
	колеса	z_2		120
Угол наклона зубьев		β_d	Выбирается конструктивно или задается	20°
Диаметр делительной окружности		d_d	$d_d = \frac{m_n z}{\cos \beta_d}$	$d_{d1} = \frac{2 \cdot 60}{0,9397} = 128,23$
				$d_{d2} = \frac{2 \cdot 120}{0,9397} = 256,46$
Диаметр окружности выступов		D_e	$D_e = m_n \times \left(\frac{z}{\cos \beta_d} + 2 \right)$	$D_{e1} = 2 \left(\frac{60}{0,9397} + 2 \right) = 132,23$
				$D_{e2} = 2 \left(\frac{120}{0,9397} + 2 \right) = 260,46$
Диаметр окружности впадин		D_i	$D_i = m_n \times \left(\frac{z}{\cos \beta_d} - 2,5 \right)$	$D_{i1} = 2 \left(\frac{60}{0,9397} - 2,5 \right) = 123,23$
				$D_{i2} = 2 \left(\frac{120}{0,9397} - 2,5 \right) = 251,46$
Высота зуба		h	$h = 2,25 m_n$	$h_1 = h_2 = 4,5$
Радиальный зазор		c	$c = 0,25 m_n$	$c = 0,5$
Толщина зуба по дуге делительной окружности		s_d	$s_d = 1,57 m_n$	$s_{d1} = s_{d2} = 3,14$
Межосевое расстояние		A	$A = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cos \beta_d}$	$A = \frac{2(60 + 120)}{2 \cdot 0,9397} = 191,6$
Примечание: Все линейные размеры даны в мм, угол наклона зубьев — в град.				

4. ПЕРЕДАЧИ С КОНИЧЕСКИМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ

Выше указывалось, что при параллельных осях зубчатых колес их вращение может воспроизводиться качением друг по другу без проскальзывания двух цилиндров, имеющих диаметры, равные диаметрам начальных окружностей колес, и называемых начальными цилиндрами. При пересекающихся осях вращение зуб-

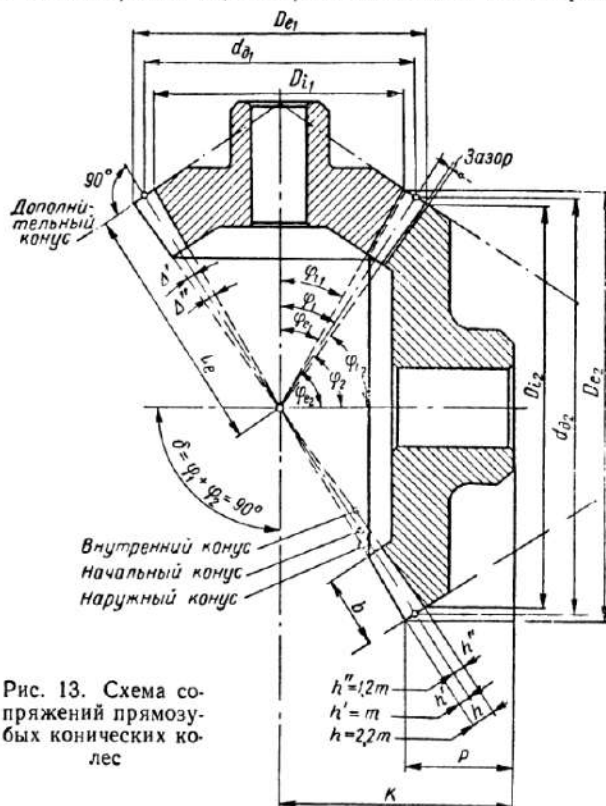


Рис. 13. Схема сопряжений прямозубых конических колес

чатых колес с заданным передаточным отношением может быть воспроизведено качением без проскальзывания двух касающихся по образующим *начальных конусов*, вершины которых лежат в точке пересечения осей (рис. 13). Коническим начальным поверхностям соответствуют конические зубчатые колеса.

В соответствии с основным законом зацепления для передач с коническими колесами существует следующая кинематическая зависимость

$$i_n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}, \quad (20)$$

где z_1 и z_2 — числа зубьев соответственно ведущего и ведомого колес; φ_1 и φ_2 — углы начальных конусов этих колес.

Если сумма углов φ_1 и φ_2 равна 90° , передача называется *ортogonalной*. Если угол начального конуса принять равным $\varphi = 90^\circ$, то коническое колесо обратится в плоское *1* (рис. 14). Плоское колесо для конических колес аналогично рейке для цилиндрических колес. Современные методы нарезания конических зубчатых колес основаны на принципе воспроизведения зацепления нарезаемого конического колеса с воображаемым плоским колесом, боковые поверхности зубьев которого описываются в пространстве прямолинейными кромками режущего инструмента. Получающееся при этом зацепление конических колес носит название *октоидного*.

Благодаря особенностям конструкции зуборезных станков для нарезания конических колес получаются в основном конические колеса с приближенным зацеплением. Существующие методы подналадки станков сводят несопряженность колес до минимума и дают возможность получить весьма полезную для эксплуатации передачу локализацию контакта зубьев по длине и высоте. Однако при этом нарушается условие взаимозаменяемости: если в зубчатой паре вышло из строя одно колесо, то должна заменяться пара.

Начальный конус конического колеса в обработке плоским колесом является делительным конусом. Для некорригированных конических колес делительные конусы являются начальными и в самой передаче.

Если линия зуба конического колеса на делительном конусе представляет собой прямую, проходящую через вершину конуса, то колесо называется *прямозубым*. Большое распространение получили конические колеса с *косыми* и *круговыми* зубьями. У косых зубьев прямолинейные образующие не проходят через вершину конуса, а у круговых в развертке делительного конуса на плоскость линия зубьев имеет форму дуги окружности.

Конус конического колеса, соосный делительному и имеющий образующие, перпендикулярные образующим делительного колеса, называется *дополнительным конусом* (рис. 13). Длина образующей делительного конуса обозначается L_c . Окружность, лежащая в основании делительного конуса, называется *делительной окружностью* $d_d = m_z z$ (m_z — торцовый модуль).

Угол между образующими конуса выступов и делительного конуса называется *углом головки*, а угол между образующими делительного конуса и конуса впадин — *углом ножки*.

В современных передачах для сохранения постоянного радиуса закругления у ножки зуба углы головок одного колеса принимаются равными углу ножки другого.

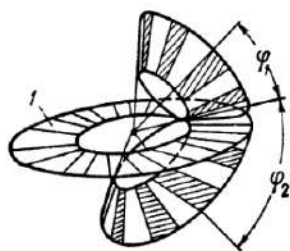


Рис. 14. Коническая зубчатая передача

Таблица 7

Формулы и пример геометрического расчета конических прямозубых колес

Наименование элемента		Обозначение	Формулы расчета	Пример (линейные размеры в мм)
Число зубьев	шестерни колеса	z_1 z_2	Определяется конструктивно	$z_1 = 24$ $z_2 = 60$
	Передаточное число	i	$i = \frac{z_2}{z_1} \leq 10$	$i = \frac{60}{24} = 2,5$
Модуль		m_s	Принимается по ГОСТу 9563—60	$m_s = m = 2 \text{ мм}$
Диаметр делительной окружности шестерни и колеса		d_{d1} d_{d2}	$d_{d1} = m_s z_1$ $d_{d2} = m_s z_2$	$d_{d1} = 2 \cdot 24 = 48$ $d_{d2} = 2 \cdot 60 = 120$
Угол делительного конуса	шестерни колеса	φ_1 φ_2	$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{z_1}{z_2}$ $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{z_2}{z_1}$	$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{24}{60} = 0,4; \varphi_1 = 21^\circ 48' 5''$ $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{60}{24} = 2,5; \varphi_2 = 68^\circ 11' 55''$
		L_e	$L_e = \frac{d_{d1}}{2 \sin \varphi_1}$ $L_e = \frac{d_{d2}}{2 \sin \varphi_2} = 0,5m \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	$L_e = \frac{48}{2 \cdot 0,3716} = 64,62$
Наружные диаметры	шестерни колеса	D_{e1} D_{e2}	$D_{e1} = d_{d1} + 2m \cos \varphi_1$ $D_{e2} = d_{d2} + 2m \cos \varphi_2$	$D_{e1} = 48 + 2 \cdot 2 \cdot 0,9283 = 51,72$ $D_{e2} = 120 + 2 \cdot 2 \cdot 0,3716 = 121,48$

Продолжение табл. 7

Наименование элемента		Обозначение	Формулы расчета	Пример (линейные размеры в мм)
Высота головки зуба		h'	$h' = m$	$h' = 2$
Высота ножки зуба		h''	$h'' = 1,25m$	$h'' = 1,25 \cdot 2 = 2,5$
Высота зуба		h	$h = h' + h''$	$h = 2 + 2,5 = 4,5$
Угол ножки зуба		Δ''	$\operatorname{tg} \Delta'' = \frac{1,25m}{L_e}$	$\operatorname{tg} \Delta'' = \frac{1,25 \cdot 2}{64,62} = 0,0385;$ $\Delta'' = 2^{\circ}13'$
Угол головки зуба		Δ'	$\operatorname{tg} \Delta' = \frac{m}{L_e}$	$\operatorname{tg} \Delta' = \frac{2}{64,62} = 0,03095;$ $\Delta' = 1^{\circ}46'$
Углы наружного конуса	шестерни колеса	φ_{e1} φ_{e2}	$\varphi_{e1} = \varphi_1 + \Delta'$ $\varphi_{e2} = \varphi_2 + \Delta'$	$\varphi_{e1} = 21^{\circ}48'5'' + 1^{\circ}46' = 23^{\circ}34'5''$ $\varphi_{e2} = 68^{\circ}11'55'' + 1^{\circ}46' = 69^{\circ}57'55''$
Углы внутреннего конуса	шестерни колеса	φ_{i1} φ_{i2}	$\varphi_{i1} = \varphi_1 - \Delta''$ $\varphi_{i2} = \varphi_2 - \Delta''$	$\varphi_{i1} = 21^{\circ}48'5'' - 2^{\circ}13' = 19^{\circ}35'5''$ $\varphi_{i2} = 68^{\circ}11'55'' - 2^{\circ}13' = 65^{\circ}58'55''$
Толщина зуба по дуге делительной окружности		s	$s_1 = s_2 = 1,5708m$	$s = 1,5703 \cdot 2 = 3,142$
Длина зуба		b	$b \leq \frac{1}{3} L_e$	$b \approx \frac{1}{3} \cdot 64 = 21$

В табл. 7 приведены формулы и пример геометрического расчета ортогональной передачи с некорригированными коническими колесами.

5. ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Червячная передача состоит из червячного колеса и червяка, причем ведущим в большинстве случаев является червяк. Оси червяка и червячного колеса могут составлять любой угол; чаще всего они взаимно перпендикулярны.

С помощью червячных передач можно получать большие передаточные числа. Передаточное число червячной передачи

$$i = \frac{z_1}{z_2}, \quad (21)$$

где z_1 — число зубьев червячного колеса;

z_2 — число заходов червяка.

В червячных передачах можно осуществить $i = 8 \div 500$. В некоторых механизмах встречаются передачи с передаточным числом до 1500. Эти передачи имеют еще и другие достоинства: небольшой вес передачи на единицу мощности; плавность хода и бесшумность работы; при угле подъема винтовой линии червяка, равном или менее 3° , обеспечивается свойство самоторможения, которое широко используется в подъемных машинах и в механизмах металлорежущих станков.

Основные недостатки червячных передач: скольжение витков червяка относительно зубьев колеса приводит к большим потерям на трение (у самотормозящихся червячных передач более 50%), следствием чего является сильный нагрев передачи при работе в машинах непрерывного действия и низкий к. п. д. передачи; ограниченная передаваемая мощность (до 100 л. с.).

Однако благодаря своим достоинствам червячные передачи получили широкое распространение.

Червячные передачи в зависимости от формы червяка могут быть двух типов:

- 1) с цилиндрическим червяком;
- 2) с глобoidным червяком (глобoidные передачи).

Здесь мы рассмотрим только передачи с цилиндрическим червяком.

Боковая поверхность зубьев червячного колеса является сопрягаемой с поверхностью червяка. В зависимости от формы винтовой поверхности червяки подразделяются на следующие:

а) архимедовы; боковая поверхность этих червяков — архимедова винтовая поверхность; профиль в осевом сечении прямойлинейный;

б) эвольвентные; их боковая поверхность — эвольвентная винтовая поверхность;

г) нелинейчатые; характеризуются тем, что ни в одном сечении не имеют прямолинейного профиля.

Принцип работы червячной передачи ясен из рассмотрения осевого сечения червяка и червячного колеса. Червячное колесо принимает вид цилиндрического, а червяк — прямозубой рейки (рис. 15). В этом реечном зацеплении поступательное движение рейки воспроизводится винтовой поверхностью червяка при вращении.

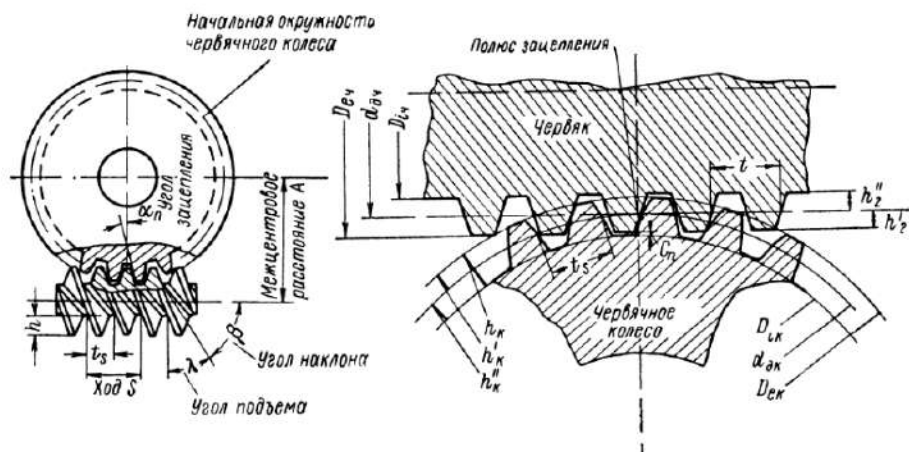


Рис. 15. Основные размеры червячной передачи

Число витков (заходов) червяка может быть разным; чем больше число заходов, тем выше к. п. д. передачи. ГОСТ 2144—66 предусматривает число заходов червяка от 1 до 4.

Модуль m_s в осевом сечении (осевой модуль) может выбираться произвольно, но обычно берется из стандартного ряда по ГОСТу 2144—66. Осевой шаг t_s червяка — это расстояние между одинаково расположенными точками смежных винтовых линий в осевом сечении:

$$t_s = \pi m_s, \quad (22)$$

он равен шагу зубьев колеса в среднем сечении по дуге делительной окружности.

В передачах, в которых необходима регулировка бокового зазора, получили распространение червяки с различными по величине шагами по правым и левым поверхностям витков. Ввиду того что шаги по правым и левым винтовым поверхностям разные, нитка нарезки имеет постепенно изменяющуюся толщину

(рис. 16). Регулировка бокового зазора и компенсация износа в червячной паре производятся осевым перемещением червяка.

Для уменьшения числа типоразмеров червяков, а следовательно, и типоразмеров червячных фрез для нарезания колес диаметр делительной окружности червяка принимается пропорциональным осевому модулю m_s . Коэффициент пропорциональности q , показывающий число модулей в диаметре делительной окружности червяка, в соответствии с ГОСТом 2144—66 принимается в виде целого числа в пределах от 8 до 16:

$$q = \frac{d_{o1}}{m_s}. \quad (23)$$

Возможно применение нестандартных значений q величиной до 20—28 при модуле $m_s = 1—2$ мм. Число заходов червяка и величина q определяют угол подъема витков λ на делительном цилиндре.

Расчет элементов червячной передачи производится по формулам табл. 8.

Пример. Рассчитать червячную передачу, имеющую модуль $m_1 = 5$ мм, число модулей в делительном диаметре червяка $q = 10$, число зубьев червячного колеса $z_2 = 80$, число заходов червяка $z_q = 2$, коэффициент радиального зазора $c_0 = 0,25$.

Определим размеры червячного колеса:

диаметр делительной окружности

$$d_{o2} = m_s z_2 = 5 \cdot 80 = 400 \text{ мм};$$

диаметр окружности выступов

$$D_{e2} = m_s (z_2 + 2) = 5 (80 + 2) = 410 \text{ мм};$$

диаметр окружности впадин

$$D_{i2} = m_s (z_2 - 2,5) = 5 (80 - 2,5) = 387,5 \text{ мм};$$

высота зуба

$$h = 2,25 m_s = 2,25 \cdot 5 = 11,25 \text{ мм};$$

высота головки зуба

$$h' = m_s = 5 \text{ мм};$$

высота ножки зуба

$$h'' = 1,25 m_s = 1,25 \cdot 5 = 6,25 \text{ мм};$$

толщина зуба по делительной окружности

$$s = \frac{t_s}{2} = \frac{\pi m_s}{2} = \frac{3,14 \cdot 5}{2} = 7,85 \text{ мм}.$$

Определим размеры червяка:

диаметр делительной окружности

$$d_{o1} = m_s q = 5 \cdot 10 = 50 \text{ мм};$$

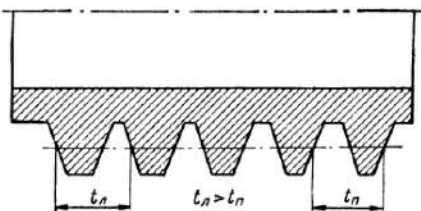


Рис. 16. Червяк с переменной толщиной витков: t_n — шаг по левой стороне витков; $t_n > t_n$ — шаг по правой стороне витков

Формулы расчета червячных передач

Расчетные параметры передач	Обозначение	Формулы расчета для	
		червячного колеса	червяка
Диаметр делительной окружности	d_{d1} d_{d2}	$d_{d2} = m_s z_2$	$d_{d1} = m_s q$
Модуль в осевом сечении	m_s	Выбирается по ГОСТу 2144—66	
Число модулей в делительном диаметре червяка	q	—	По ГОСТу 2144—66 $q = \frac{d_{d1}}{m_s}$
Коэффициент радиального зазора	c_0	$c_0 = 0,2 \div 0,3$	
Высота головки зуба	h'	$h' = m_s$	
Высота ножки зуба	h''	$h'' = (1 + c_0) m_s$	
Высота зуба	h	$h = (2 + c_0) m_s$	
Диаметр окружности выступов	D_{e2} D_{e1}	$D_{e2} = d_{d2} + 2m_s$	$D_{e1} = d_{d1} + 2m_s$
Диаметр окружности впадин	D_{i2} D_{i1}	$D_{i2} = d_{d2} - 2(1 + c_0) m_s$	$D_{i1} = d_{d1} - 2(1 + c_0) m_s$
Толщина зуба колеса по делительной окружности	s	$s = \frac{t_s}{2} = \frac{\pi m_s}{2}$	

наружный диаметр червяка

$$D_{e1} = d_{\partial 2} + 2m_s = 50 + 2 \cdot 5 = 60 \text{ мм}$$

или

$$D_{e1} = m_s (q + 2) = 5 (10 + 2) = 60 \text{ мм};$$

диаметр окружности впадин

$$D_{i1} = d_{\partial 2} - 2,5m_s = 50 - 2,5 \cdot 5 = 37,5 \text{ мм}$$

или

$$D_{i1} = m_s (q - 2,5) = 5 (10 - 2,5) = 37,5 \text{ мм};$$

ход винтовой линии червяка

$$T_e = z_1 t_s = z_1 \pi m_s = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 = 31,41 \text{ мм.}$$

6. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

При передаче вращения с одного вала на другой происходит потеря мощности в зубчатой передаче в связи с трением в зацеплении, трением в опорах валов, размешиванием и разбрызгиванием масла и вентиляцией воздуха.

Величина потерь мощности зависит от передаточного числа, коэффициента перекрытия передачи, точности и шероховатости профильных поверхностей зубьев, рода трущихся материалов, вязкости масла, скорости вращения и ширины колес.

Отношение мощности, снимаемой с ведомого вала передачи, к мощности, подведенной к ведущему валу, называется коэффициентом полезного действия (к. п. д.) передачи.

Средние значения к. п. д. зубчатых цилиндрических и конических передач приводятся в табл. 9.

Таблица 9

Средние значения к. п. д. зубчатых передач на подшипниках качения

Передачи	Конструкция передачи		
	закрытая 6-й или 7-й степени точности с жидкой смазкой	закрытая 8-й степени точности с жидкой смазкой	открытая с густой смазкой
Цилиндрическая	0,98	0,97	0,96
Коническая	0,97	0,96	0,94

7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

При назначении материала для изготовления зубчатых колес учитываются не только назначение и условия работы машины, где работает передача, но и требования технологичности и возможности имеющегося оборудования. Для получения компактных и надежных передач материалы колес должны обладать

достаточной прочностью, а их поверхностный слой должен иметь высокую износостойкость. Сердцевина зубчатых колес должна иметь высокую вязкость.

Этим требованиям лучше всего удовлетворяют конструкционные углеродистые и легированные стали. В настоящее время используются главным образом термически и химико-термически обрабатываемые стали.

Современное зуборезное оборудование и режущий инструмент (фрезы, долбяки из быстрорежущей стали Р18) позволяют обрабатывать с достаточно большой скоростью резания колеса, твердость которых не превышает $HV\ 300-320$. Отделка колес шеверами при такой твердости не вызывает затруднений. Для получения этой твердости заготовки колес подвергают улучшению (закалке с высоким отпуском). Улучшению подвергаются стали с содержанием углерода $0,3-0,5\%$ марок 35, 45, 50, 40Х, 40ХН и др.

Колеса высоконагруженных передач должны иметь высокую поверхностную твердость и твердость сердцевины $HV \geq 350$, что достигается объемной закалкой или соответствующей химико-термической обработкой. Термическая и химико-термическая обработка вызывает искажение формы и размеров профиля, коробление колес. Для устранения этих искажений колеса следует шлифовать.

Для обеспечения высокой твердости лишь рабочих поверхностей зубьев ($HRC \approx 45-55$) последние подвергаются поверхностной закалке, обычно выполняемой токами высокой частоты (т. в. ч.). Закалка поверхностного слоя должна производиться по всему контуру зубьев, включая впадины.

Очень высокая твердость рабочих поверхностей зубьев получается цементацией с последующей закалкой. Глубина цементованного слоя обычно не превышает $1,5-2\text{ мм}$, достигаемая твердость $HRC\ 58-63$. Цементации подвергают обычно легированные стали марок 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА и др. с содержанием углерода до $0,25\%$.

Азотирование поверхности также позволяет получить очень высокую твердость ($HRC\ 55-65$). Азотирование производится в тех случаях, когда нужно избежать коробления зубьев. Толщина азотированного слоя составляет $0,5-0,8\text{ мм}$. Процесс азотирования очень длительный, кроме того, не все стали подвергаются азотированию. Для азотируемых колес применяют стали марок 38ХМЮА и 38ХВФЮ.

Для повышения поверхностной твердости зубьев весьма эффективно применение цианирования с последующей закалкой (насыщение поверхности углеродом и азотом). Достигаемая при этом твердость $HRC\ 60-63$, глубина цианированного слоя $0,2-0,4\text{ мм}$. Для колес, подвергаемых цианированию, применяются мало- и среднеуглеродистые легированные стали типа 20Х, 35Х, 30ХГТ и т. п.

Колеса для крупногабаритных передач часто изготавливаются из стального литья марок 35Л, 40Л, 45Л и 50Л. С целью ликвидации внутренних остаточных напряжений и коробления литых колес обычно производится их отжиг или нормализация.

Тихоходные зубчатые колеса можно изготавливать из чугунного литья марок СЧ18-36, СЧ21-40 или модифицированного чугуна СЧ28-48, СЧ32-52. Перспективным материалом является высокопрочный чугун ВЧ 45-5, ВЧ40-10 и др.

В ряде отраслей машиностроения для изготовления колес применяются неметаллические материалы.

Зубчатые колеса из пластмасс работают относительно бесшумно с ограниченной смазкой и без нее в агрессивных и абразивных средах, имеют малый вес, отличаются антифрикционными свойствами. Однако не все пластмассовые материалы переносят холод, вибрации, влагу и т. п. В машиностроении зубчатые колеса из пластмасс используются только в слабнонагруженных передачах.

Имеются две группы пластмасс — термореактивная и термопластичная. Термореактивные пластмассы характеризуются тем, что при нагреве до определенной температуры они переходят в твердое неплавкое состояние, и этот процесс необратим. Термопластические материалы при нагреве не затвердевают, а переходят в вязкотекучее состояние, причем процесс этот обратим. Изделия из этих материалов получают шприцеванием и литьем под давлением без дополнительной механической обработки.

К термореактивным материалам относятся следующие.

1. *Текстолит*; это прессованная ткань, пропитанная феноло- или крезолоальдегидными смолами. Текстолитовые колеса марок ПТК и ПТ широко применяются в текстильной, в пищевой и химической промышленности, в металлорежущих станках, приводах конвейеров и т. п.

2. *Древеснослоистые пластики (ДСП)*; изготавливаются из листов лущеного древесного шпона толщиной 0,5—0,6 мм путем их пропитки феноло- или крезолоальдегидными смолами с последующим прессованием под давлением 200 кг/см². В зависимости от расположения волокон они разделяются на три типа: ДСП-Б, ДСП-В и ДСП-Г.

3. *Волокниты*; хлопчатобумажные, стеклянные и другие волокна, пропитанные синтетическими смолами. Для зубчатых колес рекомендуется применять стекловидные волокниты марки АГ-4С. Из волокнитов целесообразно изготавливать профилированные заготовки, а зубья нарезать на зуборезных станках твердосплавным инструментом при $v = 200—600$ м/мин и подаче $s = 0,05—0,3$ мм/об.

К термопластическим материалам относятся:

- 1) *поликапронамид* (капрон);
- 2) *полиамид П-68* — для зубчатых колес, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности;

3) *полиформальдегид*; обладает хорошими усталостными и антифрикционными свойствами и слабо поглощает влагу;

4) *полипропилен*; обладает хорошими механическими свойствами в сочетании с химической стойкостью, антифрикционностью; стоек к кислотным и щелочным растворителям; при температуре 80°C растворяется в бензоле и толуоле, но имеет низкую морозостойкость.

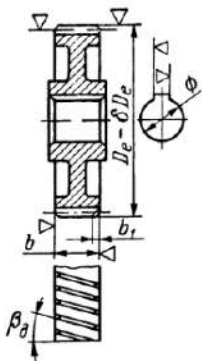
8. ОФОРМЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

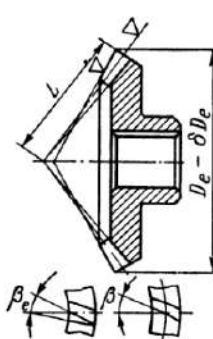
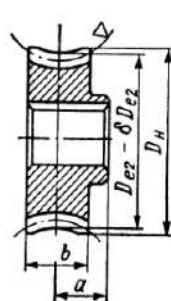
Размеры и другие данные, необходимые для изготовления и контроля зубчатых колес, указываются на чертеже и в таблице параметров. Таблица располагается в правой верхней части поля чертежа и содержит сведения, необходимые для изготовления и контроля зубчатого колеса (табл. 10). Помимо этого на чертеже приводятся технические требования: данные о форме торцов зубьев, модификации профиля, термообработке и чистоте поверхностей зубьев.

Правила оформления рабочих чертежей зубчатых колес с модулем свыше 1 мм определяются ГОСТом 9250—59.

Таблица 10

Пример оформления чертежа и таблицы параметров

Вид колеса	Чертеж	Таблица параметров				
Цилиндрическое		Модуль				
		Число зубьев		z		
		Угол наклона зубьев		β_d		
		Направление зубьев				
		Исходный контур	Угол профиля		α_d	
			Коэффициент высоты	головки	f'	
				ножки	f''	
			Радиус закругления		r_t	
			Срез головки	высота		
				угол фланка		
		Коэффициент смещения исходного контура		ε		
		Степень точности по ГОСТу				
		(Контрольный комплекс)				
		(Справочные данные)				

Вид колеса	Чертеж	Таблица параметров		
Коническое		Модуль	m	
		Число зубьев	z	
		Тип зубьев		
		Угол спирали зубьев		
		Направление зубьев		
		Исходный контур	Угол профиля	α_d
			Высота головки зуба	h'
			Высота зуба	h
			Радиус закругления	r_i
		Коэффициент смещения исходного контура		ξ
		Степень точности по ГОСТу		
		(Контрольный комплекс)		
		(Справочные данные)		
Червячное		Модуль осевой	m_s	
		Число зубьев	z_2	
		Сопряженный червяк	Число заходов	z_1
			Направление витка	
		Межосевое расстояние в обработке		A_0
		Степень точности по ГОСТу		
		(Контрольный комплекс)		
		Сопряженный червяк	Тип червяка	
			Расположение прямолнейных образующих	
			Ход винтовой линии	S
			Угол профиля исходного контура	α_d
			Диаметр выступов	D_{e1}
		Зуборезный инструмент	Толщина зуба	s
Радиальный зазор во впадинах колеса	c_K			
Примечание. Таблицы параметров располагаются в правом верхнем углу чертежа на расстоянии 15—20 мм от верхней границы формата.				

МЕТОДЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ И ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

9. ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ РЕЗАНИЕМ

Выбор метода зубообработки зависит от многих факторов; основными из них являются: тип и размеры колес; заданная точность изготовления зубьев; наличие оборудования на заводе; размер партии изготавливаемых однотипных колес, определяющий потребную производительность зубообработки.

Метод копирования

Сущность метода состоит в том, что режущим инструментом последовательно или одновременно нарезаются впадины зубчатого колеса, причем профиль инструмента точно соответствует контуру этих впадин. По этому методу обрабатываются цилиндрические колеса наружного и внутреннего зацепления с прямыми и спиральными зубьями, конические прямозубые колеса и конические колеса с криволинейными зубьями.

Нарезание производится на специальных станках, на некоторых моделях универсальных станков, имеющих механизм единичного деления, и иногда на фрезерных станках с помощью делительной головки.

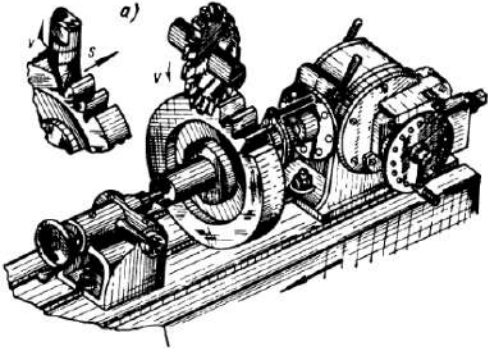
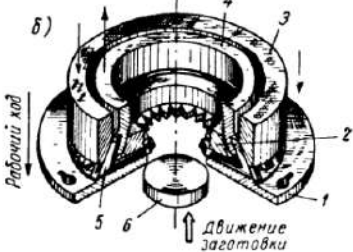
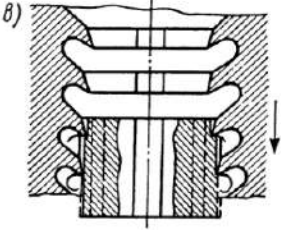
Нарезание зубьев модульными фрезами (табл. 11.1, а). Модульная фреза воспроизводит профиль впадины зубчатого колеса. Пальцевые и дисковые модульные фрезы применяются для чистового нарезания колес крупного модуля и чернового нарезания колес среднего модуля. При нарезании мелко модульных колес этот метод редко применяется.

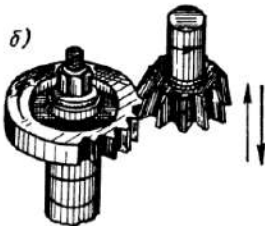
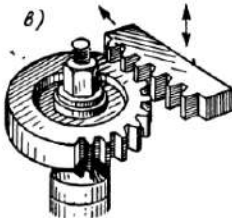
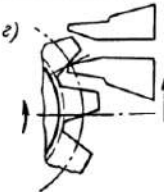
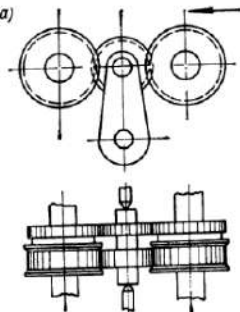
Для повышения производительности зубонарезания используют наборы дисковых фрез. При этом методе нарезания фреза имеет равномерное вращение и перемещается вдоль оси колеса. После обработки одной впадины (или нескольких в случае применения набора фрез) и вывода фрезы заготовка поворачивается на угловой шаг (или несколько шагов), и затем цикл повторяется.

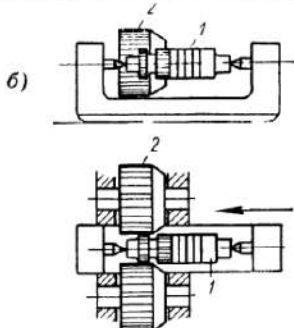
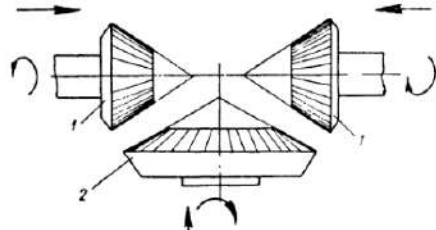
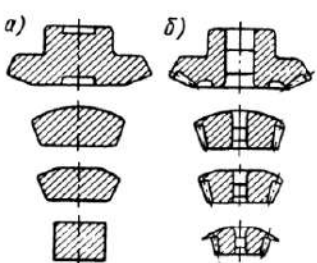
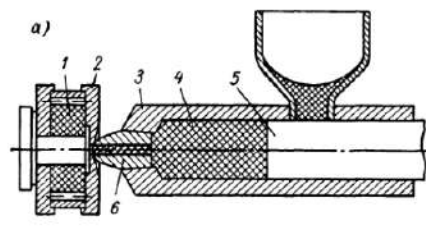
Обработка цилиндрических колес рассмотренным методом производится на специальных станках ЕЗ-11, фирмы «Модуль» ZFK—355 (ГДР), универсальных зубофрезерных станках моделей 5330, 5342, 5343, 5345 и др., имеющих механизм единичного деления, и на фрезерных станках с помощью универсальной

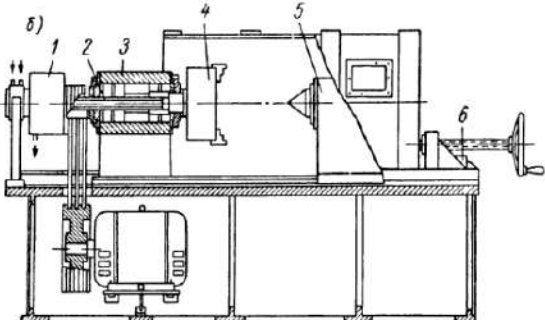
Таблица 11

Методы изготовления зубчатых колес

№ схемы	Схема	Методы
		<i>Копирование</i> Обработка зубьев колеса модульными фрезами: пальцевой и дисковой (а)
1		<i>Контурное зубонарезание</i> Зубодолбежная головка к станку модели 5110 (б)
		<i>Нарезание зубчатых колес протягиванием</i> Кольцевая протяжка, обрабатывающая одновременно все зубья колеса с точностью 7—8-й степени (в)
2		<i>Обкатка</i> Обработка зубьев червячной фрезой (а)

№ схемы	Схема	Методы
2	 б)	Обработка зубьев долбяком (б)
	 в)	Обработка зубьев гребенкой (в)
	 г)	Обработка зубьев прямозубых конических колес резцами (г)
3	 а)	Накатывание Горячее накатывание с радиальной подачей (а)

№ схемы	Схема	Методы
3	б) 	Горячее накатывание с осевой подачей (б)
	в) 	Горячее накатывание конических колес (в)
4	а) б) 	Штамповка Эскизы поковки для конических колес по переходам при использовании старой технологии — поковки без зубьев (а) То же по применению новой технологии — поковки с зубьями (б)
5	а) 	Изготовление зубчатых колес из пластмасс Литье под давлением (а) 1 — отливаемое колесо; 2 — литевая форма; 3 — литевой цилиндр; 4 — расплав; 5 — поршень; 6 — мунштук

№ схемы	Схема	Методы
5		<i>Центробежно-вакуумный</i> 1 — гидроцилиндр поджима формы; 2 — полый вал; 3 — неподвижная бабка; 4 — универсальный патрон; 5 — подвижная задняя бабка; 6 — гидроцилиндр

делительной головки. Для пальцевых фрез применяются специальные головки или суппорты.

На станках типов ЕЗ осуществляется нарезание конических прямозубых колес; на универсальных зубофрезерных станках перечисленных выше моделей можно нарезать зубчатые колеса внутреннего зацепления методом копирования с точностью зубонарезания по 9—10-й степени (ГОСТ 1643—56).

Контурное зубонарезание (табл. 11.1, б). В массовом производстве цилиндрических зубчатых колес небольших размеров и средних модулей применяют метод одновременного долбления всех зубьев — контурное зубонарезание. Этот способ дает высокую производительность (в 8—10 раз выше, чем на обычных зубофрезерных станках) благодаря тому, что многолезцовый головкой со специальными профильными резцами одновременно обрабатывают все зубья.

Для каждого колеса используется специальный инструмент, количество резцов которого и их профиль совпадают с количеством и формой впадин зубьев. В диске 1 этого инструмента прорезаны пазы по числу зубьев нарезаемого колеса; в каждом пазу находится подвижный профильный резец 5. Диск 2 удерживает резцы от перемещения вверх. Рабочий шпиндель станка с укрепленной на нем заготовкой 6 совершает вертикальное возвратно-поступательное движение. После каждого его двойного хода резцы получают движение к центру колеса и продвигаются до тех пор, пока не врежутся на полную глубину впадины. Конусное кольцо 3 ставит резцы в рабочее положение, а кольцо 4 отодвигает их после каждого рабочего хода.

Станки с таким режущим инструментом (моделей 5110, 5120, 5130), изготавливаемые заводом «Комсомолец», имеют ограниченное

применение в связи со сложностью и требуемой высокой точностью изготовления режущего инструмента.

Нарезание зубчатых колес протягиванием (табл. 11.1, в). Зубчатые колеса с наружными и внутренними зубьями в массовом производстве иногда обрабатываются методом протягивания. Колеса с внутренними зубьями протягиваются на обычных протяжных станках. Для протягивания наружных зубьев используют специальное оборудование и кольцевые протяжки.

Однако, несмотря на высокую производительность и возможную точность нарезания зубьев, вследствие сложности изготовления протяжек этот метод не получил широкого распространения.

Метод обкатки

Сущность метода заключается в том, что режущему инструменту и заготовке колеса сообщаются такие взаимосвязанные движения, которые обеспечивают получение требуемого профиля зубьев. В процессе обработки инструменту, кроме обкаточного движения, дополнительно сообщается движение подачи.

Метод обкатки осуществляется при нарезании зубьев червячными фрезами, долбяками и гребенками.

Обработка червячными фрезами (табл. 11.2, а). Высокая производительность, точность и универсальность обработки обусловили широкое распространение этого метода при изготовлении цилиндрических колес. В процессе обработки движущиеся прямолинейные режущие кромки червячной фрезы воспроизводят в пространстве зубья рейки, находящейся в зацеплении с колесом.

В результате взаимной обкатки фрезы и нарезаемого колеса, а также движения фрезы вдоль оси заготовки на последней образуются прямые или косые зубья. Для нарезания червячных колес подача фрезы производится в радиальном или осевом направлении.

Обкатка долбяком (табл. 11.2, б). В процессе обработки воспроизводится зубчатое зацепление двух цилиндрических колес одного и того же модуля, одно из которых является режущим инструментом (долбяком), а другое — заготовкой. Долбяк совершает возвратно-поступательное движение, при этом и долбяк и заготовка вращаются, как бы находясь в зацеплении.

Обработка гребенкой (табл. 11.2, в). В процессе обработки воспроизводится зубчатое зацепление рейки с колесом. Режущим инструментом является гребенка (рейка), а нарезаемым колесом — заготовка.

Этот способ используется для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями.

Обработка резцами (табл. 11.2, г). При нарезании конических колес воспроизводится зацепление конической пары колес, одно из которых (воображаемое) плоское.

В качестве зубьев плоского конического колеса могут применяться резцы с прямолинейными режущими кромками, закреплен-

ные в поворачивающейся люльке. При нарезании колесо как бы находится в зацеплении с воображаемым плоским зубчатым коническим колесом, зубьями которого являются эти резцы (см. рис. 14). Резцы совершают вращательное и прямолинейное возвратно-поступательное движение, постепенно протрагивая на заготовке соответствующие впадины. После нарезания одного зуба люлька и заготовка поворачиваются в исходное положение. Затем заготовка поворачивается на угловой шаг, и процесс повторяется.

Существует много способов нарезания конических колес методом обкатки; режущим инструментом при этом могут быть один или два резца, дисковые фрезы, резцовые головки.

10. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА

Изготовление зубчатых колес накатыванием

Зубья на заготовках могут быть образованы не только резанием, но и накатыванием (пластической деформацией) горячим и холодным.

Горячее накатывание (табл. 11.3, а, б, в). Этот способ накатывания осуществляется на специальных станах—полуавтоматах. Заготовки предварительно нагреваются в течение 30—35 сек токами высокой частоты (т. в. ч.) до температуры 1000—1200° С, затем производится накатывание зубьев на заготовке при помощи накатников 2 (зубчатых валков) того же модуля, что и накатываемое колесо 1.

Горячее накатывание цилиндрических колес осуществляется радиальным и осевым способами.

При радиальной подаче накатники получают вращательное движение и перемещение в радиальном направлении (табл. 11.3, а), а заготовка колеса — только вращательное. Согласованность вращения накатников и заготовки достигается установкой мастер-шестерни с числом зубьев, равным числу зубьев накатываемой шестерни.

На стане можно накатывать зубчатые колеса с прямыми, косыми и шевронными зубьями, с зацеплением Новикова, червяки и другие детали.

При осевой подаче накатники получают только вращательное движение, а заготовка — вращательное и поступательное (табл. 11.3, б). Этим способом накатываются цилиндрические зубчатые колеса из одной или нескольких заготовок. Достижимая степень точности колес — 8—9-я.

Принципиальная схема стана для накатывания конических зубчатых колес ясна из рисунка в табл. 11.3, в. Сближением валков 1, несущих конические шестерни-накатники, с заготовкой 2 до момента совпадения вершин их конусов получаем на нагре-

той т. в. ч. заготовке зубья. Степень точности накатанных колес 8—10-я. Иногда применяют комбинированное накатывание цилиндрических колес, т. е. такое, когда зубчатое колесо после горячего накатывания проходит на стенде холодное накатывание с радиальной подачей накатников и реверсированием их вращения. Такой метод повышает точность колеса по нормам плавности и контакта до 8 и 7-й степени.

Холодное накатывание. Мелкомодульные зубчатые колеса 7—9-й степени точности и с чистой поверхностью зубьев $\nabla 9$ получают холодным накатыванием на специальных станках. Инструментом служат три шестерни-накатника, расположенные под углом 120° , представляющие собой твердые зубчатые колеса высокой точности. Накатники свободно сидят на своих осях и приводятся во вращение накатываемой шестерней.

Метод пластической деформации, применяемый для накатывания зубьев, имеет следующие преимущества: дает высокую производительность; позволяет пользоваться универсальным инструментом и оборудованием; требует меньшего расхода материала; дает повышенную прочность и износостойчивость зубьев колес.

Метод накатывания зубчатых колес является весьма перспективным, особенно для цилиндрических колес (кроме крупных модулей), но не получил еще широкого распространения и находится в стадии совершенствования.

Метод штамповки

Штамповка зубчатых колес (табл. 11.4) применяется только для изготовления конических шестерен, наряду с методом накатывания, которым можно пользоваться только в массовом производстве, в то время как штамповка конических колес экономически оправдывается и в условиях серийного производства.

Чаще всего штамповка конических колес с образованием прямых зубьев применяется при $m \geq 4$ мм. Однако при изготовлении профилирующего зуба ручьевого вкладыша электроэрозионной обработкой, обеспечивающей высокую точность размеров, чистоту поверхности, быстроту и дешевизну изготовления штампа, метод штамповки конических колес оказывается целесообразным и для мелкомодульных колес до $m = 2$ мм.

В настоящее время применяются два варианта метода штамповки колес:

- 1) штамповка с точностью и чистотой поверхности, при которых не требуется дальнейшая механическая обработка по зубу, например для конических колес 8—9-й степени точности;

- 2) штамповка колес с зубом, имеющим припуск под чистовую обработку на зубострогальных станках (для колес 6—7-й степени точности).

Штамповка производится на молотах, фрикционных прессах и кривошипных прессах за несколько переходов. Заготовки нагреваются в индукционных или электронагревательных печах сопротивления до температуры 1150° С, часто в защитной среде чистого аргона.

Преимущества метода штамповки по сравнению с методами обработки зубьев резанием: увеличиваются прочность и износостойкость зубьев; сокращается расход металла на 30—50%; снижается трудоемкость механической обработки примерно на 30% и уменьшается износ режущего инструмента.

Изготовление зубчатых колес из пластмасс

Рассмотрим основные методы производства пластмассовых колес (табл. 11.5).

Метод литья под давлением. В специальную прессформу закладывается материал, и производится его электроподогрев и пресование.

В табл. 11.5, а показана принципиальная схема машины для литья под давлением. Промышленностью выпускаются следующие модели машин: ТП-8, ЛМ-125, ЛМ-1000, ЛНГ-62.

Метод центробежно-вакуумного литья (табл. 11.5, б). Во вращающуюся форму вводится расплавленный материал, который под действием центробежных сил заполняет форму и приобретает ее конфигурацию. Вакуум в форме обеспечивает чистоту и улучшает качество материала. Этот метод позволяет вводить антифрикционные и теплоотводящие наполнители: графит, металлические опилки и др.

Метод шприцевания. Машины для шприцевания работают по принципу непрерывного выдавливания материала через оформляющую головку. Производительность этих машин определяется скоростью вращения шнека, его диаметром и отношением длины к диаметру, а также температурой и коэффициентом трения материала. Главными достоинствами этого метода являются возможность автоматизации технологического процесса и высокая производительность. Этим методом можно изготавливать прямозубые цилиндрические колеса и заготовки для зубчатых колес под последующую механическую обработку.

Метод прессования зубчатых колес из металлических порошков

В СССР и за рубежом в массовом производстве получил распространение метод прессования мелких деталей из порошков железа, латуни и других металлов. Прессованием, спеканием и калибровкой из порошковой массы с большой точностью изготавливаются (в зависимости от точности и чистоты поверхности прессформ) детали сложной формы, в том числе и с зубчатыми венцами.

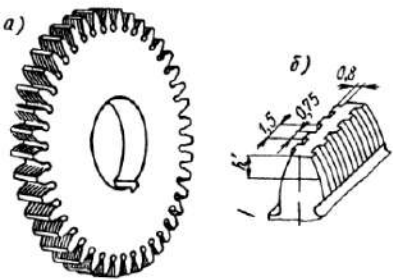
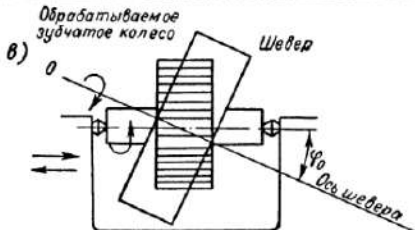
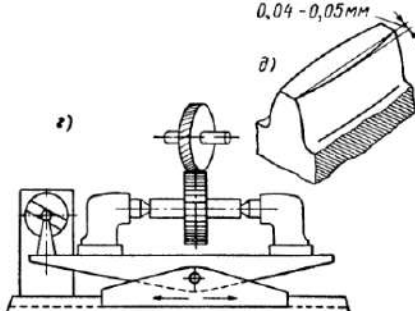
II ОТДЕЛКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

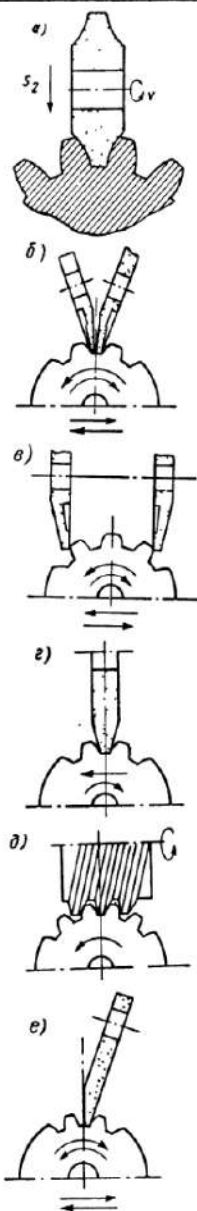
Шевингование

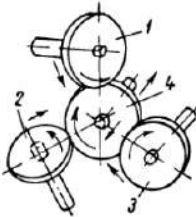
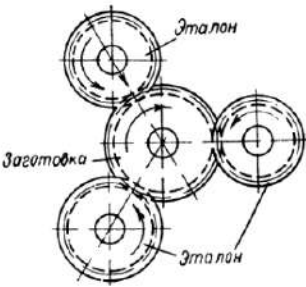
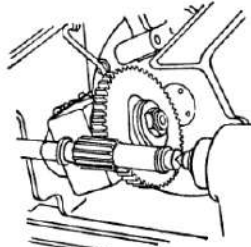
Этот способ отделки рабочих поверхностей цилиндрических колес осуществляется при плотном зацеплении зубьев колес с зубьями шевера. Шевер — это закаленное зубчатое колесо (табл. 12.1, а, б), на боковых поверхностях зубьев которого расположены неглубокие канавки, образующие режущие кромки.

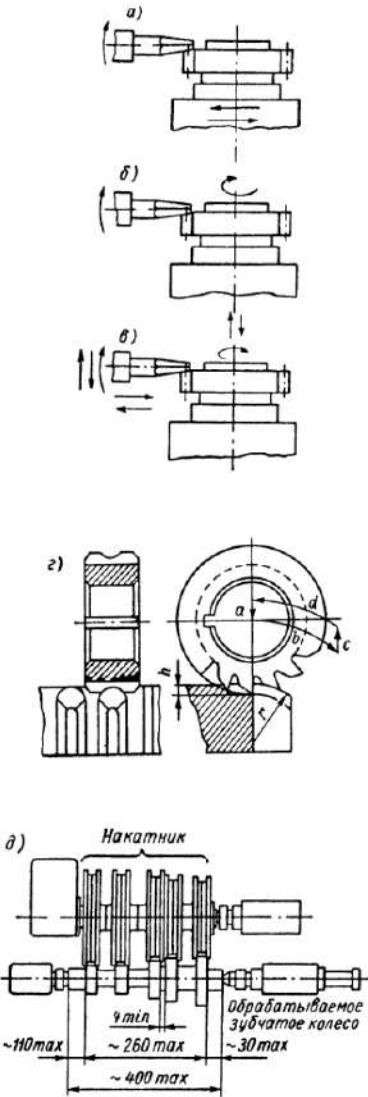
Таблица 12

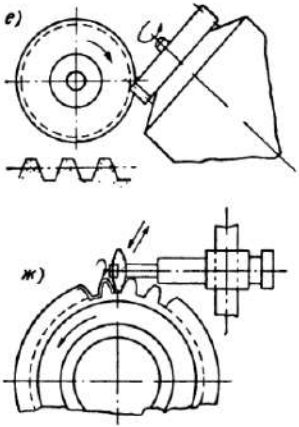
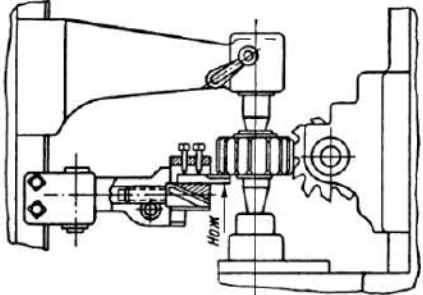
Методы отделки цилиндрических зубчатых колес

№ схем	Схема	Метод отделки
		<i>Шевингование</i> Дисковый шевер (а). Форма и размеры дискового шевера (б)
1		Принципиальная схема шевингования прямозубого цилиндрического колеса (в)
		Форма бочкообразного зуба (д). Схема станка для шевингования зубьев бочкообразной формы (е)

№ схемы	Схема	Метод отделки
2	 а) б) в) г) д) е)	<i>Зубошлифование</i> Шлифование зубьев абразивным кругом методом копирования (а) Шлифование зубьев методом обкатки: двумя тарельчатыми кругами — метод 0° (б), двумя тарельчатыми кругами — метод $15-20^\circ$ (в); коническим абразивным кругом (г); червячным абразивным кругом (д); плоским абразивным кругом (е)

№ схемы	Схема	Метод отделки
3		<i>Притирка</i> Способ отделки закаленных зубчатых колес 4 тремя чугунными притирами 1, 2, 3 с пересекающимися осями
4		<i>Обкатка</i> Упрочнение профилей зубьев незакаленных колес тремя обкаточными (эталонными) закаленными колесами, расположенными под углом 120°. Обкатка производится при обильной смазке или в масляной ванне и под определенным давлением
5		<i>Хонингование</i> Снятие абразивным колесом (хоном) заборин, окалины, мелких заусенцев и повышение чистоты поверхности на 2—3 класса

№ схем	Схема	Метод отделки
6	 а) б) в) г) д) Накатник Обрабатываемое зубчатое колесо ~110 мин ~260 мин ~30 мин ~400 мин	Снятие заусенцев и образование фасок на зубчатых колесах металлическим инструментом: пальцевой фрезой с прерывистым делением (а) пальцевой фрезой с непрерывным делением (б) пальцевой фрезой с непрерывным делением (в) дисковой фасонной фрезой (г) зубчатым накатником (д)

№ схемы	Схема	Метод отделки
6		абразивным инструментом: абразивным червяком (е) » «плавающим» кругом (ж)
7		<i>Снятие заусенцев с зубчатых колес</i> На зубофрезерных и зубодолбежных станках специальным резцом

Шевер вращается вокруг своей оси OO , скрещивающейся с осью изделия под углом $10-20^\circ$ (табл. 12.1, а).

Шевингование зубьев обеспечивает повышение точности по показателям плавности цилиндрических колес (с $HV \leq 350$) и по радиальному биению зубчатого венца, а также чистоту поверхности до $\nabla 7-8$ по ГОСТу 2789-59.

Точность, достигаемая при шевинговании зубьев цилиндрических колес, в значительной степени зависит от погрешностей предшествующего зубонарезания. Зубья шевингуемых колес обычно нарезаются специальными червячными фрезами.

Шевингование производится на станках моделей 5712, 5714, 5717 и др., работающих с продольной подачей по следующей схеме.

Шевер закрепляется на шпинделе станка и приводится во вращение от электродвигателя. Обрабатываемое колесо, насаженное на оправку, устанавливается свободно в центрах станка и приводится во вращение шевером. Стол с расположенным в центрах его колесом имеет два движения: одно вдоль оси изделия (продольная подача), другое перпендикулярно оси изделия (радиальная подача), осуществляемое в конце рабочего хода стола. Последние 2—4 хода стола шевингование происходит без радиальной подачи.

Установка угла скрещивания осей шевера и колеса φ_0 производится в зависимости от углов наклона зубьев колеса и шевера. Число ходов стола с заготовкой определяется припуском и требуемой чистотой поверхностей зубьев (в среднем 6—10 ходов). Величина припуска под шевингование влияет на производительность процесса и стойкость шевера. Оптимально следует принимать припуск на сторону соответственно модулям:

m в мм	1	2	3	4	5	6
Припуск в мм	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Шевингование колес средней величины продолжается 40—60 сек.

Для уменьшения неравномерности распределения нагрузки по длине зуба при нежестких валах применяют колеса с бочкообразными зубьями. Шевингование таких колес производится на станках, оснащенных устройством, схема которого, а также и форма бочкообразного зуба показаны в табл. 12.1, а, б.

Обычно для шевингования прямозубых колес применяют косозубый шевер, а для шевингования косозубых колес — прямозубый шевер.

Процесс шевингования является наиболее производительным по сравнению с другими отделочными операциями. Точность и производительность шевингования колес зависят от точности предварительной операции (зубообработки), состояния станка и шевера, способа установки и крепления колеса и шевера с минимальным биением, величины припуска, предварительного удаления заусенцев и наличия фасок, правильного выбора и достаточной подачи охлаждающей жидкости (10—15 л/мин сульфорезола) для вымывания стружки из канавок шевера, причем применение неочищенной от стружечной пыли жидкости может привести к надирам и царапинам на шевингуемой поверхности.

Существуют следующие методы шевингования:

- с продольной подачей параллельно оси заготовки;
- с диагональной подачей под некоторым углом к оси колеса, что уменьшает длину прохода;
- с тангенциальной подачей под прямым углом к оси шевера, а не детали; перемещение в этом случае будет наименьшим.

В СССР выпускаются зубошевинговальные полуавтоматы, обрабатывающие колеса диаметром до 4000 мм различными ме-

тодами. К наиболее распространенным моделям относятся следующие: 5712, 5714, 5717, 5701, 5702А, 5703, 5706.

Признаком затупления шевера считается появление стружки с цветами побежалости или появление блеска на боковых профилях его зубьев. Стойкость между двумя переточками при чугунных колесах 600—1200 деталей и при стальных 1500—3000 деталей. Это относится к шеверам из стали Р18. Для шеверов из стали Р9Ф5 приведенные данные следует увеличить на 50%. Стойкость шеверов при диагональном и тангенциальном шевинговании по сравнению с продольным увеличивается на 40—45%.

Заточка шеверов производится шлифованием рабочих поверхностей на зубошлифовальных станках. Пропорционально утонению зубьев при переточке уменьшают диаметр выступов. Шевингованием называют также отделочную операцию обработки зубьев червячных колес. Шевер при этом представляет собой червяк, на боковых поверхностях витков которого имеются радиальные канавки с острыми кромками. Для обеспечения лучшего сопряжения поверхностей зубьев шевингуемого колеса и витков червяка шевер должен шлифоваться на одном станке с червяком и с одинаковой установкой. После чистового фрезерования зубьев колеса под шевингование рекомендуется оставлять припуск 0,6—0,1 мм по толщине зуба.

Шевингование червячных колес производится двумя методами:

- а) методом радиальной подачи — сближением шевера и колеса до номинального межосевого расстояния;
- б) методом тангенциальной подачи, когда подача шевера осуществляется вдоль оси шевера при установленном номинальном межосевом расстоянии.

Зубошлифование

Для колес, обработанных термически до твердости $HRC \geq 40$, 7-й степени и точнее, основным способом отделки зубьев является зубошлифование (табл. 12.2). При отсутствии высокоточных зубофрезерных станков в виде исключения можно применять зубошлифование для отделки зубьев колес, имеющих твердость $HB < 350$, 6-ю степень точности и точнее. Зубошлифование — последняя операция механической обработки. Станки, на которых производится шлифование, резко различаются по производительности и точности обработки, а процесс обработки осуществляется двумя методами — обкатыванием и копированием.

Шлифование зубьев обкатыванием основано на принципе зацепления колеса с рейкой. Зубчатой рейкой служит профилированный дисковый или тарельчатый круг. По принципу обкатки работают также станки с червячными абразивными кругами.

Шлифование зубьев копированием производится абразивным кругом, которому придается профиль, соответствующий профилю впадины обрабатываемого зубчатого колеса (табл. 12.2, а).

Точность шлифования зависит от выбранного метода шлифования, точности оборудования, точности заготовки (базовых поверхностей), применяемых баз и методов крепления заготовок, режимов резания и качества шлифовального круга. Метод копирования дает возможность шлифовать зубья различных профилей и форм, однако он требует применения сложных приспособлений для правки круга.

Шлифование методом обкатки производится по следующим схемам:

схема I — шлифование двумя тарельчатыми кругами на станках 5851 и 5852 (табл. 12.2, б);

схема II — двумя тарельчатыми кругами на станках 5851 и 5852 (табл. 12.2, в);

схема III — коническим кругом на станках 5831 и 585М (табл. 12.2, г);

схема IV — червячным кругом на станках 5А830, 5А832 и 5А833 (табл. 12.2, д);

схема V — плоским кругом на станках 5892А и 5893 (табл. 12.2, е).

Точность зубошлифования на разных станках различна. Наибольшей точностью обладают станки для шлифования червячным кругом колес с модулем до 4 мм. Весьма точны и другие станки, работающие по методу обкатки, а на некоторых типах этих станков с помощью специальных механизмов можно производить фланкирование и образование бочкообразности зубьев.

Базовые поверхности деталей после термической обработки должны обрабатываться начисто с базированием по элементам зацепления. Допустимое биение торца принимается в зависимости от степени точности колеса и ширины зубчатого венца.

Шлифование зубьев на большинстве типов станков производится с применением содовых эмульсий, а при особых требованиях по чистоте поверхности — с охлаждением маслом.

Размеры припусков и режимы резания должны обеспечивать получение требуемой чистоты поверхности и малый износ инструмента.

Рекомендуемая величина припуска на сторону зуба под шлифование:

Для модулей в мм	Припуск в мм
До 2	0,08—0,15
2—5	0,015—0,20
Св. 5	0,2—0,3

Средняя скорость резания 25—30 м/сек; $s_p = 0,03—0,1$ мм/дв. ход. Глубина шлифования при чистовом проходе 0,01—0,02 мм. Последние 1—2 прохода шлифуют без подачи. Важное значение имеет подбор шлифовального круга.

В последнее время получают применение станки для шлифования конических колес с прямыми и криволинейными зубьями (модели 5870, 5872).

Притирка

Притирка является доводочным процессом, при котором профили зубьев подвергаются искусственному износу посредством специального инструмента — притира с использованием абразивных паст или жидких смесей.

Процесс притирки осуществляется за счет того, что обрабатываемое колесо и притиры, оси которых скрещиваются под разными углами и в разных направлениях (табл. 12.3), кроме медленного обкаточного движения имеют дополнительное возвратно-поступательное движение. На притирочных станках модели 573 завода «Комсомолец» оси двух притиров скрещиваются с осью изделия, а ось третьего притира параллельна ей. Изделие, кроме вращательного движения, имеет возвратно-поступательное движение вдоль своей оси. В качестве притира используют точные чугунные колеса. Число зубьев притира не должно быть кратным или не должно иметь общих множителей с числом зубьев колеса, в противном случае погрешности притира могут передаваться на изделие. Припуск на толщину зуба под притирку не должен превышать 0,05 мм.

Притирка — простой и дешевый способ отделки закаленных и сырых зубчатых колес, применяемый для ответственных передач с целью уменьшения шума, повышения долговечности и улучшения контакта между зубьями. Процесс притирки длится 5—6 мин и является весьма производительным.

Обкатка

С целью улучшения формы профилей зубьев сырых зубчатых колес и снятия забоин и заусенцев с закаленных колес применяют обкатку. Процесс состоит в том, что стальные закаленные обкаточные колеса такого же модуля, как и заготовка, расположенные под углом 120°, с усилием прижимаются к заготовке (табл. 12.4). Одно из обкаточных колес (ведущее) получает вращение от электродвигателя. Обрабатываемое колесо и два других обкаточных колеса приводятся во вращение ведущим обкаточным колесом.

В процессе обкатки сглаживаются следы обработки резанием, а также упрочняются слои металла на поверхностях зубьев.

Если обкатанные сырые колеса подвергаются термообработке, то поверхностные напряжения, возникшие при упрочнении, снимаются и могут появиться новые погрешности колеса.

Обкатка производится в масляной ванне или при обильной смазке (смесь керосина с машинным маслом 3 : 1) с периодическим изменением вращения заготовки и обкаточных колес. Обкатка

выполняется на специальных станках (модели 5723) или с помощью приспособлений к металлорежущим станкам.

Режим обкатки устанавливается опытным путем в зависимости от материала и тщательности предварительной обработки. Длительная обкатка искажает профиль зуба.

Зубохонингование

Это новый высокопроизводительный технологический процесс, применяемый для обработки зубчатых колес после шевингования и термической обработки. Хонингованием устраняются небольшие дефекты закаленных зубьев, удаляется окалина, снимаются забоины и заусенцы, повышается на 2—3 класса чистота поверхности зуба, что значительно снижает шум в передачах. Сущность процесса зубохонингования состоит в том, что косозубый абразивный инструмент (хон), находясь в плотном зацеплении с обрабатываемым прямозубым колесом (табл. 12.5), получает вращение со скоростью 7—10 м/сек и колебательное движение с частотой 200—300 кол/мин с амплитудой 1,5 мм, а обрабатываемое колесо, приводящееся во вращение хонем, совершает возвратно-поступательное движение — 2—3 дв. ход/мин.

Радиальное усилие между хонем и колесом равно 10—13 кг. Обработка осуществляется при обильном охлаждении керосином или смесью парафинового масла с машинным (7 : 1).

Одним хонем можно обработать 2—4 тыс. колес среднего размера. Припуск с одной стороны профиля зуба не должен превышать 0,01 мм. Обработка колеса занимает 25—30 сек. Для зубохонингования может быть использован шевинговальный станок модели 5714 со специальным приспособлением.

Хон представляет собой зубчатое колесо, изготавливаемое из пластмассы с абразивной смесью путем прессования в прессформе. Для прямозубых колес применяются косозубые ($\beta = 15\text{--}18^\circ$), а для обработки косозубых колес — прямозубые хоны, и выполняются они по 5—6-й степени точности.

Снятие заусенцев, образование фасок и закруглений на торцах зубьев

Для улучшения качества и повышения долговечности зубчатых колес целесообразно образование фасок по контуру зубьев. При закалке колес без фасок на зубьях возможны перегрев острых кромок, а также образование микротрещин, способствующих иногда поломке зубьев.

Наличие фасок по контуру зубьев уменьшает возможность появления прижогов при их шлифовании и улучшает также условия шевингования.

Перед снятием фасок целесообразно удалять крупные заусенцы (2—4 мм) в процессе нарезания зубьев при помощи специальных

резцов, устанавливаемых на станках (табл. 12.7). Заусенцы можно удалять также вращающимися металлическими щетками.

Переключаемые цилиндрические колеса имеют закругления торцов зубьев; формы закругления показаны на рис. 17—19.

Образование фасок и снятие заусенцев металлическим инструментом. Эти операции выполняются следующими методами.

1. **Обработка пальцевой фрезой** на зубозакругляющих станках, при этом ось фрезы расположена перпендикулярно оси заготовки. Обработка осуществляется по следующим схемам [3]:

а) с прерывистым делением на каждый зуб колеса при вращении и возвратно-поступательном движении фрезы по требуемой

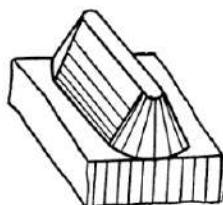


Рис. 17. Конусная форма закругления торцов зубьев

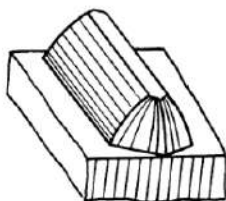


Рис. 18. Бочкообразная форма закругления торцов зубьев

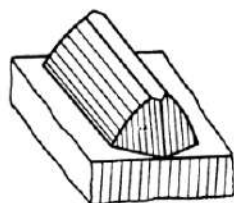


Рис. 19. Скосы на торцах зубьев

траектории, причем деталь в конце и в начале цикла отводится и подводится к инструменту (табл. 12.6, а); по этой схеме работает станок модели 550, завода «Комсомолец»;

б) с непрерывным делением и синхронным возвратно-поступательным движением детали вдоль своей оси (табл. 12.6, б); по этой схеме работает станок модели 558;

в) с непрерывным делением и синхронным возвратно-поступательным движением вдоль оси детали вращающегося шпинделя (табл. 12.6, в); по этой схеме работает станок ЭНИМС 5А580. Получаемая при этих способах закругления форма торцов зубьев показана на рис. 17.

К недостаткам метода обработки концевой фрезой относятся: низкая производительность, малая прочность и стойкость пальцевой фрезы, образование игольчатой стружки.

2. **Обработка дисковой фасонной фрезой** на новом разработанном ЭНИМСом полуавтомате модели СМ5, который работает с прерывистым делением (табл. 12.6, г). Преимущества метода: высокая производительность и стойкость инструмента. Цикл обработки состоит из следующих движений: врезание в торец колеса на полную глубину закругления — участок а; обработка торца вдоль высоты зуба по радиусу r , осуществляемая во время перемещения центра фрезы по дуге в; быстрый отвод фрезы — участок с; возврат фрезы в исходное положение по дуге d

с одновременным поворотом колеса для обработки следующего зуба. Форма торцов зубьев при обработке дисковой фрезой показана на рис. 18.

3. Обработка пустотелой фрезой с внутренней конической поверхностью [6] позволяет получать закругления в форме конических скосов, обрабатывая заострение зубьев (рис. 19).

4. Обработка зубчатым накатником производится на станке модели КС-2 (Швеция) для образования фасок и снятия заусенцев с помощью накатников и резцов. Обрабатываемое колесо надевают на оправку и устанавливают в централах передней и задней бабок станка. Сзади передней бабки расположена головка, несущая зубчатый накатник (табл. 12.6, д). Фаска образуется путем выдавливания зубчатым накатником, зацепляющимся при вращении с обрабатываемым колесом. Выдавливаемый металл обрабатываемого колеса перемещается в сторону торца. В верхней части станка расположена шарнирно закрепленная рама, несущая резец, который при опускании рамы срезает избыток металла с заусенцем. При этом резец приближается к торцу с помощью пневматического устройства.

На станке можно обрабатывать прямозубые и косозубые цилиндрические колеса диаметром до 200 мм одновенцовые и блочные с числом зубчатых венцов не более 5 при общей длине блока 400 мм. При обработке прямозубых колес используются накатники с наклонными зубьями, а при обработке косозубых колес — с прямыми зубьями. Основное время для обработки блока колеса равно 5—8 сек, вспомогательное — 5—8 сек. Работа на этом станке более эффективна в условиях массового производства при обработке блочных колес.

Обработка фасок абразивным инструментом. Наиболее широкое распространение получили станки, на которых фаски образуются абразивным червяком и абразивным «плавающим» кругом. Фаски образуются абразивным червяком при непрерывном обкатывании (табл. 12.6, е). Один оборот червяка соответствует повороту колеса на один угловой шаг.

Станки, работающие по этому методу, выполняются по двум схемам: станки без жесткой связи инструмента с обрабатываемым колесом (типа Берингер) и станки с жесткой связью инструмента с обрабатываемым колесом (типа БМВ).

В станках без жесткой связи деталь устанавливают в шпиндель, укрепленный в салазках, и перемещают вручную до сцепления с червяком. Затем включают вращение червяка. Червяк имеет профиль, шаг и угол зацепления, соответствующие колесу. Он изготовляется на связке из эпоксидных смол, не требует правки, самозатачивается; стойкость червяка 25 тыс. зубьев с $m = 2—3$ мм. Целесообразно применять этот метод для колес с $m \leq 5$ мм и диаметром более 320 мм.

В станках с жесткой связью зацепление обрабатываемого колеса с червяком можно выполнять на ходу при вращающихся шпинделях. Цикл работы может быть полностью автоматизирован. Такие станки применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Метод образования фасок абразивным «плавающим» кругом (табл. 12.6, ж) весьма эффективен, обладает большой универсальностью и может осуществляться на станках простейшего типа. Абразивный круг (на вулканитовой связке) толщиной 1—5 мм и диаметром 60—150 мм имеет противовес P и с небольшим усилием касается кромки зуба торцом или периферией. Зубчатому колесу сообщается медленное вращение, а вращающийся абразивный круг «плышет» по торцовым кромкам зуба. На станках этого типа можно делать фаски любой величины на колесах как наружного, так и внутреннего зацепления.

В настоящее время выпускаются станки-полуавтоматы моделей МА5527Д и МА5525Д, работающие по этому принципу.

Подбор и приработка зубчатых колес

В некоторых случаях для повышения нагрузочной способности передач и уменьшения шума ограничиваются подбором или приработкой зубчатых колес.

Подбор зубчатых колес ведется по уровню шума и величине площади касания сопряженных поверхностей зубьев. Определение уровня шума осуществляется на контрольно-шумовых станках моделей 579, 5791, 5792 и др.

Подбор по пятну касания имеет целью достичь плавности и долговечности работы зубчатых колес. В обкаточное приспособление устанавливается подобранная пара колес, причем ведущее колесо окрашивается суриком или лазурью, и паре сообщается вращение при торможении ведомого колеса. При этом поверхности зубьев ведомого колеса окрашиваются и таким образом образуется «пятно контакта». В случае неудовлетворительного пятна подбирают другое колесо до тех пор, пока не получится удовлетворительное пятно. Эта пара клеймится или связывается и направляется на сборку.

Иногда в передаче производится приработка зубьев в корпусе узла, где благодаря износу рабочих поверхностей улучшается контакт зубьев под нагрузкой. Для приработки применяют масла с противозадирными присадками.

12. ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Требования, предъявляемые к качеству режущего инструмента

Качество инструмента, изготавливаемого промышленностью, регламентируется общесоюзными стандартами. Твердость зуборезного инструмента из стали Р18 после термической обработки

должна быть *HRC* 62—65; твердость хвостовиков и корпусов сборных инструментов — *HRC* 30—40.

Инструмент не должен иметь заусенцев, забоин, зазубрин, следов коррозии, а нешлифованные части должны быть чисто обработаны и предохранены от коррозии. Для облегчения удаления стружки канавки должны быть чистыми и гладкими, а у некоторых инструментов — полированными.

Во избежание налипания стружки и загрязнения инструмент должен быть размагничен после шлифования на магнитном столе. Шпоночные канавки должны быть тщательно обработаны и иметь закругления в уголках. Зубья затылованных нешлифованных фрез должны быть гладкими, без рисок и следов дробления. Все шлифованные и заточенные поверхности не должны иметь черновин, поджогов или цветов побежалости. Режущие кромки должны быть острыми, без завалов, зазубрин и забоин.

Посадочные отверстия должны быть отшлифованы, а у долбяков и шеверов — полированы. Ввиду особого значения чистоты рабочих поверхностей инструмента при отделочных операциях эти поверхности также полируются. С улучшением качества отделки инструмента повышается его стойкость.

Основные размеры инструмента (шаг, модуль и т. п.) и профили режущих кромок, а также посадочные отверстия и перпендикулярность оси отверстия по отношению к торцам должны быть в пределах допусков. Каждый инструмент должен иметь клеймо, указывающее характеристику инструмента.

Конструкция зуборезного инструмента определяется принятым способом нарезания зубьев. Ниже приводятся краткое описание и характеристики некоторых видов зуборезного инструмента.

Материалы режущих инструментов

Эти материалы после термообработки должны обладать следующими свойствами:

- а) твердостью не ниже *HRC* 62—65;
- б) износоустойчивостью, характеризующей высокое сопротивление истиранию, возникающему в процессе резания;
- в) относительно высокой вязкостью, позволяющей использовать инструмент при обработке с ударами и вибрациями;
- г) красностойкостью, т. е. способностью не терять своих режущих свойств при нагреве в процессе резания.

К таким материалам для зуборезного инструмента относятся: быстрорежущие и кобальтованадиевые стали, а также твердые сплавы.

Быстрорежущие стали сохраняют свои режущие свойства при нагреве до температуры 550—600° С, что позволяет производить обработку при высоких скоростях резания и длительное время работать без переточки (4—8 ч). Распространены две марки этих

сталей — P9 и P18 (цифры показывают среднее содержание вольфрама в процентах).

Кобальтованадиевые стали марок P9K10 и P9K5 содержат соответственно 10 и 5% кобальта, обладают повышенной твердостью (HRC 66). Нарезание зубьев червячными фрезами из сверхбыстрорежущей стали осуществляется при скорости резания до 100 м/мин и подаче 4—7 мм/об.

Твердые сплавы выпускаются в виде пластин, которыми оснащается инструмент. В состав твердого сплава входят: твердые материалы (карбид титана, карбид вольфрама) и цементирующие материалы, обеспечивающие вязкость (кобальт). Твердый сплав получается спеканием исходных материалов.

Свойства твердосплавных пластин сохраняются при температуре 1000° С, а твердость их колеблется в пределах HRA 88—89.

Для режущих инструментов используются две группы сплавов: 1) вольфрамовые (BK2, BK3, BK4 и т. д.); содержат 2—12% кобальта, остальное — карбиды вольфрама; употребляются в основном для обработки чугуна, бронзы, но могут применяться и для обработки стали;

2) титано-вольфрамовые (Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т30К4); содержат 4—30% карбида титана и 4—10% кобальта, остальное — карбиды вольфрама. Эти марки устойчивы против истирания, имеют твердость HRA 88,5—91 и употребляются для обработки стали.

Дисковые и пальцевые модульные фрезы

Дисковые модульные фрезы предназначены для нарезания зубчатых колес на фрезерных станках методом копирования. Этими фрезами нарезаются прямые и косые зубья 9—10-й степени точности.

Конструкция дисковой модульной фрезы показана на рис. 20. Передний угол $\gamma = 0^\circ$, а угол резания $\delta = 90^\circ$, для черновых дисковых фрез передний угол $\gamma = 4—10^\circ$, а задний — $12—15^\circ$, при этом по боковым сторонам он бывает не менее 3° . Основные размеры фрез приведены в табл. 13.

Для каждого числа зубьев по расположению и кривизне эвольвенты следует применять соответствующую дисковую фрезу, но практически это неприемлемо. Установлены комплекты дисковых фрез, в которых каждая фреза данного модуля может быть использована в определенном интервале чисел зубьев, причем профиль зуба фрезы данного комплекта соответствует наименьшему числу зубьев колеса в данном интервале.

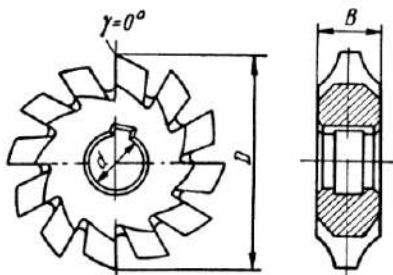


Рис. 20. Конструкция дисковой модульной фрезы

Основные размеры дисковых модульных фрез
по ГОСТу 10996—64

Мо- дуль	Наруж- ный диаметр	Отверстие под оправку	Число зубьев фрезы	Мо- дуль	Наруж- ный диаметр	Отверстие под оправку	Число зубьев фрезы
в мм				в мм			
1,0	50	22	14	6	100	32	11
1,5	55		12	7	105		
2,0	60			8	110		
2,5	65			9	115		
3,0	70			10	120		
3,5	75	27	11	11	135	40	10
4,0	80			12	145		
4,5	85			13	155		
5	90	32		14	160		

По ГОСТу 10996—64 принято три комплекта дисковых модульных фрез в 8, 15, 26 шт. (табл. 14). Комплект из 8 шт. применяется для колес с модулем до 8 мм, комплект из 15 шт. — для колес с модулем 9—16 мм и комплект из 26 фрез — для колес с модулем свыше 16 мм. Для нарезания прямозубых колес фрезы выбирают по табл. 14, исходя из действительного числа зубьев, а для нарезания косозубых колес учитывают приведенное число зубьев, определяемое по формуле

$$z_{np} = \frac{z}{\cos^3 \beta_d} = k_{\beta} z, \quad (24)$$

где β_d — угол наклона зуба нарезаемого колеса;

k_{β} — коэффициент приведения.

Фрезы изготавливаются из сталей Р18 и Р9 цельными, а для больших модулей — сборными, при этом корпуса делаются из сталей 40Х, 45 и др.

Пример 1. Подобрать модульную фрезу для нарезания зубчатого колеса $m = 6$ мм, $z = 58$.

Берем комплект из 8 фрез ($m < 8$ мм). Для $z = 58$ по табл. 14 требуется фреза № 7.

Пример 2. Подобрать дисковую модульную фрезу для нарезания косозубого колеса: $m = 5$ мм, $z = 72$, угол наклона зубьев $\beta_d = 30^\circ$.

$$z_{np} = k_{\beta} z = 1,505 \cdot 72 = 108.$$

По 8-комплектной шкале из табл. 14 при $z_{np} = 108$ требуется фреза № 7.

Комплекты дисковых модульных фрез для прямозубых колес

№ фрезы	Число зубьев колеса			№ фрезы	Число зубьев колеса				
	Комплекты из числа фрез				Комплекты из числа фрез				
	8	15	26		8	15	26		
1	12 и 13	12	12	5	26—34	26—29	26 и 27		
1 ^{1/2}	—	13	13	5 ^{1/4}	—	—	28 и 29		
2	14—16	14	14	5 ^{1/2}	—	30—34	30 и 31		
2 ^{1/4}	—	—	15	5 ^{3/4}	—	—	32—34		
2 ^{1/2}	—	15 и 16	16	6	35—54	35—41	35—37		
3	17—20	17 и 18	17	6 ^{1/4}	—	—	38—41		
3 ^{1/4}	—	—	18	6 ^{1/2}	—	42—54	42—46		
3 ^{1/2}	—	19 и 20	19	6 ^{3/4}	—	—	47—54		
3 ^{3/4}	—	—	20	7	55—134	55—79	55—65		
4	21—25	21 и 22	21	7 ^{1/4}	—	—	66—79		
4 ^{1/4}	—	—	22	7 ^{1/2}	—	80—134	80—102		
4 ^{1/2}	—	23—25	23	7 ^{3/4}	—	—	103—134		
4 ^{3/4}	—	—	24 и 25	8	135— рейка	135— рейка	135— рейка		
Коэффициенты приведения для косозубых колес									
Угол наклона зубьев β в град	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Коэффициент k _β	1,011	1,045	1,104	1,193	1,323	1,505	1,756	2,119	2,64

Твердосплавные дисковые фрезы сборной конструкции часто используются для черновой обработки зубьев средних и крупных модулей; они позволяют снизить машинное время обработки в 2—2,5 раза. Однако широкого распространения эти фрезы еще не получили. Для них используются специальные станки (ЕЗ-11, ЕЗ-28). Основное условие использования твердосплавных фрез: наличие мощного, жесткого и быстроходного станка, так как работа выполняется на высоких режимах резания.

Пальцевые модульные фрезы применяются для нарезания прямых, косых и шевронных зубьев на колесах больших модулей (не менее 10 мм) и в условиях мелкосерийного производства (рис. 21).

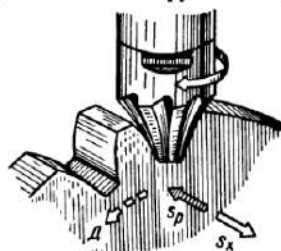


Рис. 21. Пальцевая модульная фреза

Черновая фреза отличается от чистовой наличием стружколомательных канавок; фреза должна оставлять припуск под чистовую обработку. Число зубьев чистовых пальцевых фрез делается четным для облегчения обмера и в зависимости от диаметра.

Диаметр фрезы в мм	40—45	50—70	75—140	155—220
Число зубьев фрезы	2	4	6	8

Стойкость пальцевых фрез из кобальтованадиевой стали Р9К5 повышается в 2—3 раза, чем обеспечивается получение зубчатых колес 9—10-й степени точности. Такие фрезы используются главным образом на заводах тяжелого машиностроения для нарезания шевронных колес.

Червячные фрезы

Однозаходная червячная фреза представляет собой червяк с канавками (рис. 22), прорезанными перпендикулярно виткам. Вдоль каждой канавки образуется режущая рейка с прямолинейными боковыми сторонами. Задняя поверхность зубьев заточена. Угол подъема винтовой линии (канавок) делают небольшим, что обеспечивает точность фрезы, так как профили зубьев рейки почти не искривляются.

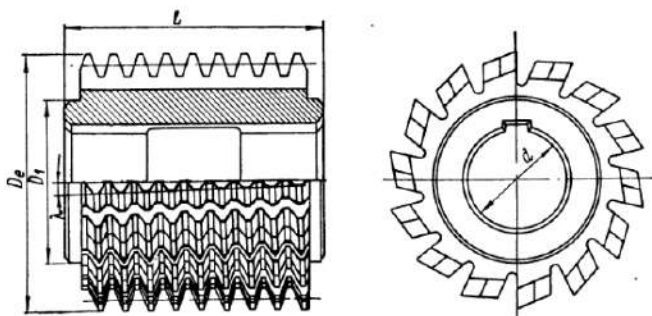


Рис. 22. Чистовая однозаходная червячная фреза

Модуль фрезы равен модулю нарезаемого цилиндрического прямозубого колеса. Для колес с косым зубом модуль фрезы принимается равным модулю зубчатого колеса в нормальном сечении.

Червячные фрезы классифицируются по роду обработки на черновые, чистовые и прецизионные, по направлению витка — на правозаходные и левозаходные, по числу заходов — на одно- и многозаходные.

Для чистовых червячных фрез передний угол γ принимается равным нулю, а боковые задние углы — по 3—4°. Для черновых червячных фрез передний угол $\gamma = 5—7^\circ$, задний угол α принимают у чистовых и черновых фрез равным 10—12° (рис. 23).

По конструкции чистовые фрезы изготавливаются трех типов и четырех классов точности (ГОСТ 9324—60):

тип I — модуль 1—10 мм, прецизионные, цельные, класса точности АА;

тип II — модуль 1—14 мм, общего назначения, цельные, классов точности А, В, С;

тип III — модуль 10—20 мм, общего назначения, сборные, классов точности А, В, С.

Класс точности однозаходных червячных фрез выбирается в зависимости от требуемой точности зубчатого колеса:

Степень точности колеса	5—6	7—8	9	10
Класс точности фрезы	АА	А	В	С

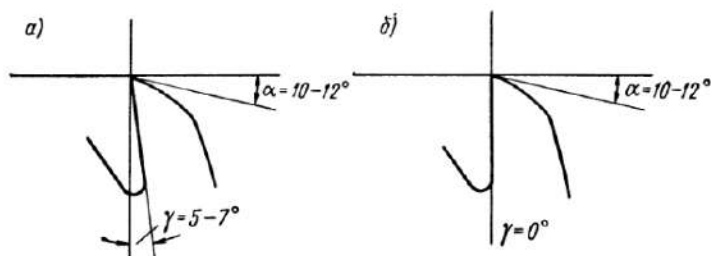


Рис. 23. Углы заточки червячных фрез: а—черновых; б—чистовых

Основные размеры стандартных чистовых фрез даны в табл. 15, на торце фрез указаны: завод-изготовитель, модуль, профильный угол, класс точности, марка стали, угол подъема и шаг винтовой линии.

Червячные фрезы изготавливаются из стали P18, твердостью HRC 62—65. Хорошие результаты показали фрезы, изготовленные из кобальтовых, ванадиевых сталей P9K5 и P9K10.

Многозаходные червячные фрезы (двух-, трех- и четырехзаходные) также применяют при нарезании зубьев. Известно, что при одном обороте однозаходной фрезы обрабатываемая заготовка поворачивается на один угловой шаг ($\frac{1}{z}$ оборота), а за каждый оборот, например, трехзаходной фрезы обрабатываемое колесо повернется на три угловых шага, т. е. на $\frac{k}{z}$ оборота, где k — число заходов фрезы. Таким образом, количество зубьев колеса, обрабатываемых за один оборот фрезы, увеличивается пропорционально числу заходов фрезы.

При одном и том же режиме резания многозаходная фреза обрабатывает колесо быстрее.

Однако с увеличением числа заходов фрезы увеличивается угол подъема витков, уменьшаются боковые задние углы и условия резания ухудшаются, зубья фрезы нагружаются неравномерно,

Таблица 15

Основные размеры чистовых однозаходных червячных фрез по ГОСТу 9324—60

m в мм	Размеры в мм								Угол наклона стружечной канавки			
	Наружный диаметр		Диаметр отверстия под оправ- ку		Длина фрезы			Число зубьев наимень- шее				
	Тип I	Тип II	Тип I	Тип II	Тип I	Тип II		Тип I	Тип II			
						ко- рот- кие	дли- ные					
1	70	63	32	27	70	40	63	16	12	0°52'	0°58'	
1,25	80		40		32	80	50			80	1°05'	1°13'
1,5											90	70
1,75	80	70		90		63	90	1°21'	1°45'			
2,0	90	70	50	40	100	70	100	14	10	1°22'	1°48'	
2,25	100	80			112	80	112			1°33'	2°02'	
2,5	112	90			125	90	125			1°33'	1°59'	
2,75	125	100	60	40	140	100	140	12	9	1°43'	2°12'	
3,0	140	112			175	125	180			1°40'	2°08'	
3,25	160	125			195	140	200			1°49'	2°20'	
3,5	180	140	2	50	215	160	225	16	12	1°58'	2°32'	
3,75	200	160			250					200	2°07'	2°44'
4,0	225	180			275					225	2°01'	2°36'
4,25	250	200	3	60	300	225	300	18	14	2°09'	2°47'	
4,5	275	225			325	250	350			2°18'	2°58'	
5,0	300	250			350	275	375			2°16'	2°57'	
5,5	325	275	4	70	375	275	375	20	16	2°32'	3°17'	
6,0	350	300			400	300	400			2°24'	3°12'	
6,5	375	325			425	325	425			2°38'	3°31'	
7	400	350	5	80	450	350	450	22	18	2°51'	3°50'	
8	425	375			475	375	475			2°55'	3°55'	
9	450	400			500	400	500			2°57'	4°30'	
10	475	425	6	90	550	425	550	24	20	2°54'	4°21'	
11	500	450			575	450	575			4°52'		
12	525	475			600	475	600			4°42'		
13	550	500	7	100	650	500	650	26	22	5°11'		
14	575	525			675	525	675			5°41'		

что приводит к их преждевременному износу и к искажению нарезаемого профиля. Поэтому для сохранения стойкости фрезы приходится снижать подачу или увеличивать диаметр фрезы, а для сохранения точности при чистовом нарезании следует применять однозаходные червячные фрезы.

Многозаходные фрезы цельные, а в специальных случаях сборные находят применение для чернового зубонарезания. Они в 2—2,5 раза производительнее, чем однозаходные. Сборные фрезы могут оснащаться пластинками из твердого сплава.

Острозаточенные сборные фрезы позволяют производить обработку при скорости резания 30—40 м/мин с подачами 6—8 мм/об

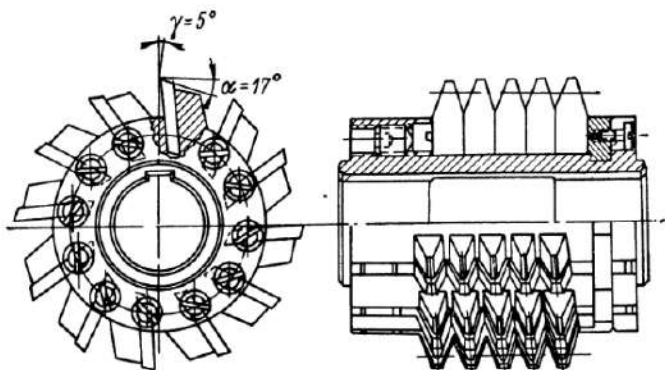


Рис. 24. Острозаточенная однозаходная червячная фреза

и отличаются более высокой стойкостью, чем стандартные. Ножи сборных острозаточенных фрез затачиваются вне корпуса фрезы в специальном приспособлении на шлифовальном станке, благодаря чему можно получать любые значения задних углов на вершине и по бокам.

При обработке зубчатых колес из сталей 20Х, 40Х и 45 задний угол α рекомендуется на вершине равным 15—20°, а по боковым сторонам — 8—12°.

Сборная острозаточенная фреза (рис. 24) эффективно используется для чернового зубонарезания и для обработки колес под шевингование.

Совершенствование червячных фрез ведется в направлении изменения геометрии, увеличения диаметра фрез и применения новейших инструментальных материалов. В ряде случаев используются фрезы «прогресс», работающие на повышенных подачах (до 12 мм/об), в 1,5—2 раза больших, чем для нормальных фрез.

Фрезы для нарезания червячных колес по конструкции такие же, как и для нарезания цилиндрических колес. Они представляют

собой режущий червяк, с которым работает в зацеплении нарезаемое червячное колесо.

Для каждого размера червяка нужна специальная фреза с такими же параметрами, как у червяка, с которым будет работать нарезаемое колесо. Наружный диаметр такой фрезы больше наружного диаметра червяка на величину двойного радиального зазора. Основные параметры колеса и червяка должны совпадать.

Можно применять червячные фрезы для нарезания червячных колес с радиальной подачей.

Способ радиальной подачи наиболее производителен, но менее точен и может применяться как чистовой при обработке червячных колес, отвечающих 8-й степени точности по ГОСТу 3675—56 и грубее.

Если фреза многозаходная, то рекомендуется, чтобы число канавок фрезы не было кратно числу заходов.

Для нарезания колес высокой точности применяются фрезы для работы с осевой подачей. Зубья нарезаемого колеса прорежутся фрезой, медленно движущейся вдоль своей оси. Для облегчения врезания фреза изготовлена с конической заборной частью (рис. 49, б). Нарезание производится при заданном межосевом расстоянии A . При осевой (тангенциальной) подаче заготовке сообщают дополнительный поворот за счет использования механизма дифференциала станка.

В индивидуальном производстве взамен специальных дорогостоящих фрез применяют специальные резцы для нарезания червячных колес (рис. 50).

Резцы по форме и размерам, а также по положению в оправке соответствуют зубьям червячной фрезы. Эти резцы называются летучими и отличаются от червячной фрезы количеством зубьев — с одним или двумя зубьями; из них один черновой (уже на 0,6—1 мм), другой — чистовой смещен точно на величину одного шага. Летучие резцы менее производительны, чем червячные фрезы, но они проще в изготовлении и дешевле.

Долбяки

Это режущие колеса того же модуля, что и нарезаемые, находящиеся с ними в зацеплении и совершающие кроме вращательного возвратно-поступательное движение. Такой режущий инструмент предназначен для чернового и чистового нарезания прямых, косых и шевронных зубьев цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления.

Долбяк — довольно сложный и дорогой инструмент. Долбяки изготавливаются пяти типов и трех классов точности по ГОСТу 9323—60.

В табл. 17 приведены характеристики чистовых долбяков. Косозубые долбяки изготавливаются как с правым, так и с левым наклоном зубьев, причем косозубые колеса с левым наклоном

зубьев нарезаются долбьями с правым наклоном, и наоборот. Класс точности долбяков выбирается в зависимости от требуемой точности нарезаемого колеса. Например:

Требуемая степень точности колеса	6	7	8
Класс точности долбяка	AA	A	B

Долбяки затачиваются с торца под углом $\gamma = 5^\circ$, задний угол α у вершины зуба равен 6° , а по боковым поверхностям $2-4^\circ$. Долбяки изготавливаются из сталей P18 и P9 с твердостью режущей части HRC 62—65. В табл. 16 приведены характеристики долбяков для нарезания прямозубых цилиндрических колес.

Таблица 16

Параметры долбяков (по ГОСТу 9323—60)
для нарезания прямозубых колес

Модуль в мм	Число зубьев долбяка z_d	Диаметр делительной окружности долбяка d_d в мм	Модуль в мм	Число зубьев долбяка z_d	Диаметр делительной окружности долбяка d_d в мм
1,0	76	76	2,75	28	77
1,25	60	75	3,0	25	75
1,5	50	75	3,25	24	78
1,75	43	75,25	3,5	22	77
2,0	38	76	3,75	20	75
2,25	34	76,5	4,0	19	76
2,5	30	75			

Долбяки крупных модулей изготавливаются сборными или сварными. Хвостовая часть сварных долбяков изготавливается из конструкционной стали.

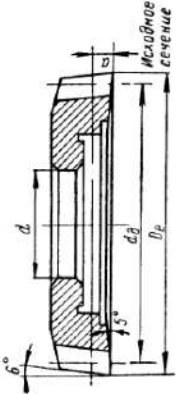
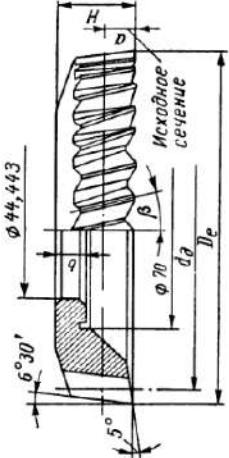
Зубострогальные резцы

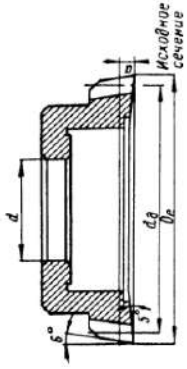
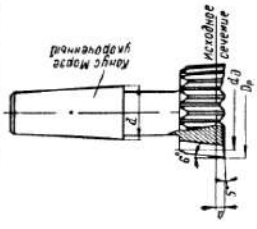
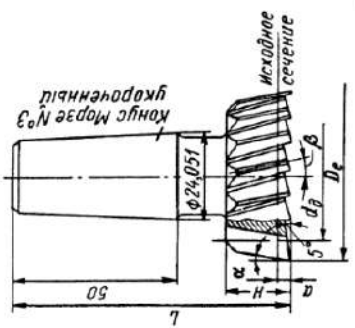
Такие резцы применяются для нарезания конических зубчатых колес методом обкатки на специальных станках. Все резцы стандартизированы (ГОСТ 5392—64) и в зависимости от назначения разделяются на четыре типа (табл. 18).

Резцы имеют прямолинейную режущую кромку и работают парами. Одна часть тела резца с отверстиями в ней служит для крепления, другая — является рабочей. Резцы всех типов, кроме типа I, изготавливаются сварными. Режущая часть резца делается из стали P9 или P18 с твердостью HRC 62—65, а часть резца для крепления его в станке — из стали 40ХФА с твердостью HRC 35 (рис. 25).

Таблица 17

Характеристики чистовых долбяков (по ГОСТу 9323—60)

Тип	Наименование	Назначение	Эскизы долбяков	Номинальный угол на- клона зуба долбяка в град	Модуль в мм	Номинальный диаметр делительной окруж- ности в мм	Класс точности
I	Дисковые пря- мозубые	Для нарезания прямозубых колес внешнего и внут- реннего зацепления		0	1—4,5 1—6,5 5—9 8—10 10—12	75 100 125 160 200	АА, А, В
II	Дисковые косо- зубые	Для нарезания косозубых колес внешнего и внут- реннего зацепления		15 23	2—7	100 100	А, В

III	Чашечные прямозубые	Для нарезания прямозубых колес		0	1—3,5 1—6,5 — 5—9	50 75 100 125	АА, А, В
IV	Хвостовые прямозубые	Для нарезания прямозубых колес внутреннего зацепления		0	1—3 1—4	25 38	В
V	Хвостовые косозубые	Для нарезания косозубых колес внутреннего зацепления		15 23	1—4	38	В

Типы чистовых зубострогальных резцов и их назначение

Типы	Модуль в мм	Модели станков, для которых предназначены резцы
I	0,3—3,25	523 (Саратовский завод зубострогальных станков), 3" (Глисон)
II	0,5—5,5	12KH, 15KH, 15KHS (Г-Гарбек)
III	1—10	526, 5A26, 5250, а также 25KH, 25KHS, 50KH, 50KHS (Г-Гарбек), 12" и 12"В (Глисон, США)
IV	3—20	5282, а также 75KH, 75KHS (Г-Гарбек)

Примечание. Резцы типа III для станков «Г-Гарбек» следует устанавливать с прокладками толщиной 5,64 мм для угла зацепления $\alpha = 20^\circ$. Резцы типа IV для указанных станков «Г-Гарбек» надо устанавливать с прокладками толщиной 9,66 мм при нарезании колес до модуля 12 мм, а от модуля 13 мм — без прокладок.

Резцы затачиваются по передней поверхности под углом 12 и 20° . С целью образования заднего угла, не предусмотренного конструкцией резца, на станках производится установка резца под углом 12° к направлению резания.

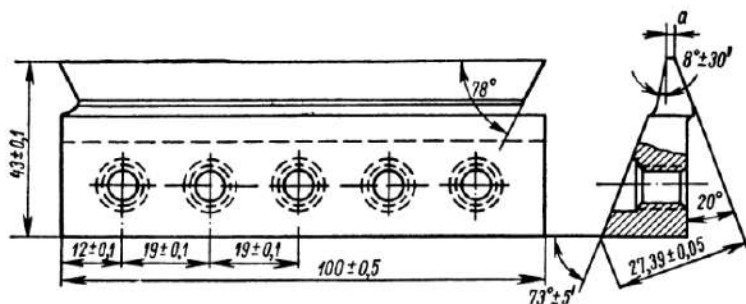


Рис. 25. Стандартный зубострогальный резец III типа

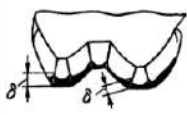
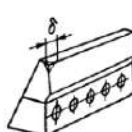
Наивыгоднейшая стойкость и допустимый износ зуборезного инструмента

В процессе эксплуатации зуборезные инструменты (червячные фрезы, долбяки и пр.) изнашиваются по наружной задней грани зуба, а также и по боковым задним граням (см. табл. 19). Переточка изношенных фрез, долбяков, резцов производится по передней грани зубьев, а при большом износе — по всему профилю зуба.

Для уменьшения износа инструмента и сокращения трудоемкости переточек установлены предельные величины износа.

Таблица 19

**Стойкость и допустимый износ зуборезного инструмента
(из стали Р18)**

Режущий инструмент	Характер обработки	Обрабатываемый материал	Эскиз	Величина износа в мм	Период стойкости (в ч) инструмента при модуле в мм				
					До 3	3-4	5-6	8	10
Червячная модульная фреза	Черновая	Сталь		0,5—0,8	4	4	6	8	12
		Чугун			8	8	12	16	24
	Чистовая	Сталь		0,2—0,4	4	4	4	4	6
		Чугун			8	8	8	8	12
Дисковая модульная фреза	Черновая	Сталь		0,8—1,0					
	Чистовая			0,2—0,4	8	8	—	—	—
Дисковый долбяк	Черновая	Сталь и чугун		0,8—1,0	5	5	5	7	7
	Чистовая			0,06—0,12	4	4	4	4	4
Резцы для нарезания конических колес	Черновая	Сталь и чугун		0,8—1,2					
	Чистовая			0,2—0,4	3	3	3	—	—

Стойкостью инструмента называется машинное время его работы между переточками (в *ч* или *мин*). Стойкость инструмента зависит от свойств обрабатываемого материала и режима резания.

Стойкость инструмента и режим резания устанавливают, исходя из соображений получения высокой производительности при наименьшей себестоимости обработки. Наивыгоднейшей считается та стойкость, которая обеспечивает высокую производительность.

Величина стойкости берется по нормативам, составленным на основании опыта заводов и специальных исследований. На фактическую стойкость инструмента оказывают влияние твердость материала, скорость резания, подача, модуль и величина срезаемого слоя (припуск). Например, если увеличить скорость в 2 раза, то стойкость инструмента снизится примерно в 8 раз; если удвоить подачу, стойкость снизится в 3 раза; если удвоить величину модуля, стойкость снизится в 1,3 раза. Увеличение твердости материала на 20% может привести к снижению стойкости инструмента в 2—3 раза.

Данные о наивыгоднейшей стойкости и допустимом износе зуборезного инструмента приведены в табл. 19.

13. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Обработка резанием происходит при определенных движениях режущего инструмента и обрабатываемого изделия или только режущего инструмента. Например, при зубофрезеровании зубья фрезы поочередно врезаются в заготовку колеса и удаляют срезаемый слой, образуя впадину зуба. При этом происходят два вида движений фрезы (вращение вокруг своей оси и вертикальное ее перемещение — движение подачи) и соответствующее вращение заготовки.

Все эти движения для определенных условий происходят с соответствующими скоростями и подачами.

Скорость резания называется путь, пройденный в единицу времени наиболее удаленной от центра точкой режущего инструмента. Допустим, червячная фреза имеет наружный диаметр, равный d_f мм, и делает n оборотов в минуту. Путь, пройденный наиболее удаленной точкой режущей кромки фрезы в минуту, $L = \pi d_f n$ мм/мин.

Скорость резания определяется по формуле

$$v_u = \frac{\pi d_f n}{1000} \text{ м/мин}, \quad (25)$$

где $\pi = 3,14$;

d_f — диаметр фрезы в мм;

n — число оборотов фрезы в минуту.

В производственных условиях часто требуется подсчитать число оборотов фрезы в минуту по заданной скорости резания. В этом случае формула (25) преобразуется:

$$n = \frac{1000v_u}{\pi d_\phi} \text{ об/мин.} \quad (26)$$

При зубодолблении или нарезании конического зуба резцом, когда инструмент совершает в минуту n возвратно-поступательных движений, скорость резания определяется по формуле

$$v_u = \frac{2Ln}{1000} \text{ м/мин,} \quad (27)$$

где L — длина хода долбяка или резца в мм;

n — число двойных ходов в минуту.

Пример 1. Червячная фреза диаметром $d_\phi = 90$ мм делает 127 об/мин. Какова скорость резания?

$$v_u = \frac{\pi d_\phi n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot 127}{1000} = 36 \text{ м/мин.}$$

Пример 2. Червячной фрезой $d_\phi = 75$ мм нарезано зубчатое колесо со скоростью 36 м/мин. Сколько оборотов в минуту делает фреза?

$$n = \frac{1000v_u}{\pi d_\phi} = \frac{1000 \cdot 36}{3,14 \cdot 75} = 153 \text{ об/мин.}$$

Пример 3. Определить скорость резания долбяка, делающего 200 двойных ходов в минуту при длине хода $L = 90$ мм.

$$v_u = \frac{2Ln}{1000} = \frac{2 \cdot 90 \cdot 200}{1000} = 36 \text{ м/мин.}$$

Пример 4. Настроить зубодолбежный станок на обработку зубчатого колеса со скоростью $v_u = 40$ м/мин при длине хода долбяка $L = 125$ мм. Надо найти число двойных ходов n .

$$n = \frac{1000v_u}{2L} = \frac{1000 \cdot 40}{2 \cdot 125} = 160 \text{ дв. ход/мин.}$$

Подачей осуществляется непрерывность резания и сообщается движение режущему инструменту или заготовке.

Нарезание зубьев колес на фрезерных станках модульной дисковой фрезой осуществляется подачей (s) заготовки навстречу фрезе. Здесь подача определяется числом миллиметров перемещения заготовки в минуту относительно фрезы (s мм/мин).

При нарезании зубьев колес червячной фрезой на зубофрезерных станках подача осуществляется перемещением (вверх или вниз) фрезы по направлению оси заготовки. Величина подачи определяется расстоянием (в мм), на которое перемещается фреза за один оборот заготовки (s мм/об).

При нарезании зубьев колес долбяком на зубодолбежном станке подача осуществляется вращательным движением долбяка,

согласованным с движением обрабатываемой заготовки. Величина подачи измеряется длиной отрезка дуги начальной окружности долбяка, на которую он повернется за один его двойной ход, такая подача называется круговой.

$$s_{кр} = \frac{\pi d_{\partial}}{n}, \quad (28)$$

здесь d_{∂} — диаметр делительной окружности долбяка;

n — число двойных ходов долбяка за один его оборот.

При нарезании зубьев конических колес резцами на зубострогальных станках подача осуществляется поворотом заготовки на длину дуги (в мм) за один двойной ход резца ($s_{кр}$ в мм на двойной ход резца). При настройке станков подача условно определяется временем (в сек) обработки одного зуба.

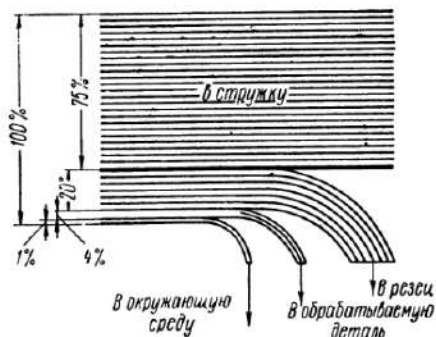


Рис. 26. Распределение тепла при резании металла

Глубина резания — это расстояние (в мм) между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности и обычно обозначаемое буквой t . При зубофрезеровании зубчатых колес за один проход глубина резания равна

высоте впадины зуба. Надлежащий выбор величин элементов режима резания способствует повышению производительности и улучшению качества обрабатываемых деталей.

В процессе обработки резанием выделяется большое количество тепла.

Источником возникновения тепла является работа, затрачиваемая на пластическую деформацию, т. е. на сдвиг частиц металла и его разрушение; эта работа превращается в теплоту внутреннего трения.

Другим источником образования теплоты является трение стружки и поверхности резания о резец; эта работа превращается в теплоту внешнего трения. Средний расход тепла показан на рис. 26.

Температура режущей части инструмента достигает 500—800° С и выше, что уменьшает режущие свойства инструмента. Поэтому снижают температуру режущей кромки инструмента охлаждением ее жидкостями. Во избежание чрезмерного нагревания резца необходимо устанавливать правильный режим резания.

На температуру резания имеет большое влияние скорость резания, в меньшей степени — подача и глубина резания. Из геометрических элементов наибольшее влияние на температуру резания оказывает угол резания $\alpha + \beta$. Так, при $\alpha + \beta = 65 - 75^\circ$ (рис. 27) температура резания изменяется незначительно, а при $\alpha + \beta = 75 - 85^\circ$ температура значительно повышается.

В результате трения задней поверхности режущего инструмента о поверхность резания и сходящей стружки о переднюю поверхность инструмента происходит его износ. За критерий износа принимается наибольшая допустимая ширина δ изношенной площадки по задней поверхности инструмента (рис. 28).

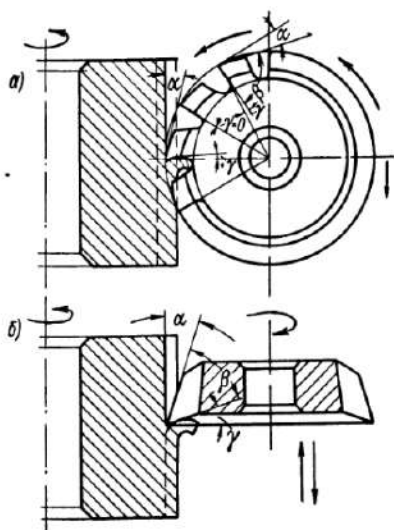


Рис. 27. Работа клина при зубонарезании (а), зубодолблении (б)

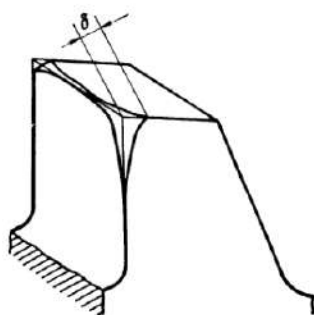


Рис. 28. Износ зуба червячной фрезы

Режимы резания устанавливаются в такой последовательности: выбирают стойкость инструмента, глубину резания (и число проходов), подачу, скорость резания (число оборотов или двойных ходов инструмента) и определяют машинное время обработки.

Выбор периода стойкости режущего инструмента имеет большое влияние на величину оптимальной скорости резания. Чем сложнее заточка инструмента, его установка и выверка на станке, тем больший период стойкости приходится выбирать. Чем больше должен быть период стойкости инструмента, тем меньше должна быть скорость резания. Например, при нарезании зубьев крупных колес (особенно турбинных) во время чистового прохода замена фрезы недопустима; следовательно, стойкость фрезы должна быть не менее машинного времени, требуемого для чистового нарезания. В этом случае стойкость фрезы, выражающаяся в нескольких десятках часов, увеличивается за счет

снижения скорости резания. Рекомендуемые наивыгоднейшие скорости режущего инструмента приведены в табл. 19.

В ы б о р г л у б и н ы р е з а н и я зависит от числа проходов. Полную обработку зуба следует производить не более чем в два прохода (черновой и чистовой); только в случае недостаточной мощности или жесткости станка нарезание осуществляется в три прохода (два черновых: первый при $t = 1,4 \text{ м}$, второй при $t = 0,8 \text{ м}$ и один чистовой).

При черновом нарезании следует выбирать возможно большие подачи, исходя из прочности инструмента и мощности станка. При чистовом нарезании величина подачи устанавливается исходя из степени точности и класса чистоты обработки. Чем выше точность и чистота обработки, тем меньше должна быть подача и тем больше должна быть скорость резания.

Скорость резания определяют с учетом ранее принятых значений стойкости инструмента и подачи, а также свойств обрабатываемого материала. Практически выбор скорости резания производится по соответствующим нормативам (табл. 33, 35 и 40).

Величина скорости резания будет тем меньше, чем тверже и прочнее обрабатываемый материал.

Существенное влияние на выбор скорости резания оказывают геометрия режущего инструмента, величина глубины резания и подача, модуль нарезаемого колеса, применяемая смазочно-охлаждающая жидкость и др. Чем с большей скоростью удастся работать на станке, тем меньше времени требуется на обработку и тем выше производительность труда. В каждом отдельном случае в зависимости от различных факторов имеется определенная наивыгоднейшая скорость резания, превышение которой не только не увеличивает производительность, а наоборот, вызывает ее уменьшение.

Чем тверже материал инструмента и чем более он красностоек (т. е. способен сохранять высокую стойкость при значительном нагреве), тем выше может быть скорость резания.

Смазочно-охлаждающие жидкости способствуют повышению скорости резания и увеличению стойкости инструмента, уменьшая трение поверхностей инструмента и изделия и улучшая чистоту обрабатываемой поверхности.

При нарезании зубчатых колес применяют сульфифрезол, масляные эмульсии (6-процентный раствор эмульсола) и др.

Смазочно-охлаждающие жидкости не применяются при обработке зубчатых колес из чугуна и некоторых цветных металлов.

14. ДОПУСКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Допуски цилиндрических зубчатых передач с механически обработанными колесами и модулем более 1 мм приведены в ГОСТе 1643—56. Для цилиндрических зубчатых передач и колес этим

ГОСТом установлено 12 степеней точности, обозначаемых в порядке убывания точности от 1 до 12, причем для наиболее точных степеней (1 и 2-й) и для наиболее грубой (12-й) допуски и отклонения не приведены. 1 и 2-й степени точности предусмотрены с учетом их применения по мере совершенствования средств производства.

Требования, предъявляемые к зубчатой передаче, зависят от ее назначения. В связи с этим ГОСТ 1643—56 для каждой степени точности устанавливает три группы норм:

- 1) нормы кинематической точности колеса;
- 2) нормы плавности работы колеса;
- 3) нормы контакта зубьев.

В зависимости от эксплуатационных требований допускается комбинирование указанных норм из разных степеней точности.

Для скоростных передач степень точности по нормам плавности может быть на одну степень выше, чем по нормам кинематической точности, что лучше обеспечивает работу передачи по бесшумности, плавности, отсутствию вибраций и др.

Для колес делительных и отсчетных механизмов, наоборот, следует принимать нормы кинематической точности на одну степень выше, чем нормы плавности.

В передачах больших мощностей (прокатных станах, мостовых кранах и т. п.) степень точности по нормам контакта принимается выше, чем по нормам кинематической точности и плавности. Однако установлено, что нормы плавности работы колеса могут быть не более, чем на две степени точнее и на одну степень грубее, чем нормы кинематической точности, а нормы контакта зубьев не могут быть грубее норм плавности колеса.

Независимо от степени точности установлены нормы бокового зазора, т. е. зазора между зубьями сцепляющихся колес, обеспечивающего некоторый поворот одного колеса при неподвижном другом.

В зависимости от условий эксплуатации и независимо от степени точности колеса требуются разные зазоры между зубьями. Они необходимы для компенсации температурных деформаций и ошибок изготовления колес, создания нормальных условий смазки и др.

ГОСТом установлены четыре вида сопряжений зубчатых колес, определяющие величину минимального гарантированного зазора: с нулевым зазором — С, с уменьшенным гарантированным зазором — Д, с нормальным гарантированным зазором — Х, с увеличенным гарантированным зазором — Ш.

На рабочем чертеже зубчатого колеса указываются степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора, например, степень 8Х, ГОСТ 1643—56, что означает 8-я степень точности с нормальным гарантированным зазором Х. В случае применения комбинированных норм делается также указание: Ст8—7—7—Д

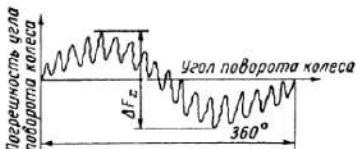
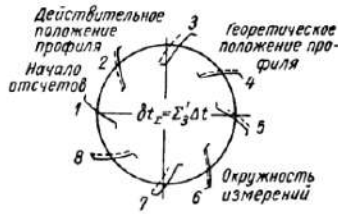
ГОСТ 1643—56, т. е. необходимо изготовить зубчатое колесо 8-й степени по кинематической точности, 7-й степени по нормам плавности, 7-й степени по нормам контакта с уменьшенным гарантированным зазором.

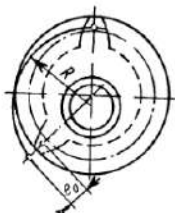
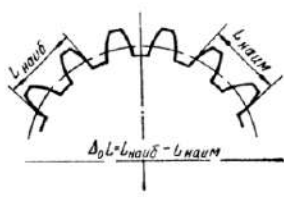
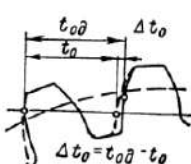
ГОСТом установлены комплексные и поэлементные показатели зубчатых колес. К комплексным показателям относятся: кинематическая погрешность колеса ΔF_{Σ} , циклическая погрешность ΔF и пятно контакта. Вместо комплексных показателей стандартом установлены поэлементные показатели для прямозубых и узких косозубых колес, а также для широких косозубых и шевронных колес.

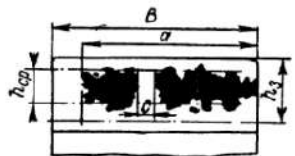
В табл. 20 приведены основные определения и обозначения отклонений и допусков цилиндрических зубчатых колес, в табл. 21 — необходимые сведения о выборе комплексов контроля.

Таблица 20

Основные определения и обозначения

Отклонения, допуски и эскизы	Обозначения	Определения
<i>По нормам кинематической точности</i> Кинематическая погрешность 		
Накопленная погрешность окружного шага 	ΔF_{Σ} δF_{Σ}	Наибольшая погрешность угла поворота зубчатого колеса в пределах одного оборота при однопрофильном зацеплении с точным (измерительным) колесом. Выражается в линейных единицах, отсчитываемых по дуге окружности, проходящей через середину высоты зуба Наибольшая погрешность во взаимном расположении любых двух одноименных профилей зубьев на окружности колеса. Образуется вследствие эксцентриситета основной окружности

Отклонения, допуски и эскизы	Обозначения	Определения
Радиальное биение зубчатого колеса 	e_0 E_0	Наибольшее колебание расстояний от постоянных хорд зубьев (или впадин) колеса до оси его вращения
Колебания длины общей нормали 	$\Delta_0 L$ $\delta_0 L$	Разность между наибольшей $L_{наиб}$ и наименьшей $L_{наим}$ длинами общей нормали в одном и том же колесе
По нормам плавности		
Отклонение основного шага 	Δt_0 δt_0	Разность между действительным и номинальным расстояниями, определяемыми между двумя взаимно параллельными касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев колеса, и измеряемая по нормали к профилям. Δt_0 нарушает плавность зацепления в прямозубых колесах, а в широких косозубых и шевронных уменьшает полноту контакта

Отклонения, допуски и эскизы	Обозначения	Определения
Погрешности профиля 	Δf δf	Δf — расстояние по нормали между двумя теоретическими профилями зуба колеса, ограничивающими действительный профиль в пределах его рабочего участка. Δf определяется в сечении, перпендикулярном к оси вращения колеса
По нормам контакта		
Пятно контакта 	Δh $\Delta_m h$	Часть боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания парного колеса после вращения передачи с легким торможением. Размеры пятна контакта определяются по длине зуба отношением расстояния между крайними точками следов за вычетом разрывов, превышающих величину модуля в мм, к полной длине зуба $\left(\frac{d-c}{b} 100\%\right)$, а по высоте зуба — отношением средней высоты пятна к рабочей высоте зуба $\left(\frac{h_{cp}}{h_g} 100\%\right)$
По нормам бокового зазора		
Смещение исходного контура 	Δh $\Delta_m h$ δh	Смещение исходного контура от его номинального положения в тело колеса Наименьшее смещение исходного контура для обеспечения в передаче гарантированного, т. е. достаточного для нормальных условий работы, бокового зазора Допуск на смещение исходного контура как разность предельных его смещений
Примечание. По ГОСТу 1643—56 принято отклонения обозначать буквой Δ, а допуск — δ. Исключение составляет допуск на радиальное биение зубчатого венца, обозначаемый E_s, и его отклонение, обозначаемое e_s.		

Т а б л и ц а 21
Комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес, применяемые в различных отраслях машиностроения [13]

Нормы точности	Прямозубые и узкие косозубые колеса				Широкие косозубые колеса			
	измеритель- ные, делительные, приборные	авиационные, автомобильные, станочные, тяговые	тракторные, крановые сельскохозяйственных машин	Степень точности				
				3—5	5—6	6—7	8—9	9—11
Кинематическая точность	$\Delta F_{\Sigma} (\Delta f_{\Sigma})$	$\Delta F_{\Sigma} (\Delta f_{\Sigma})$	$\Delta_0 a$ и $\Delta_0 L$	$\Delta_0 a (e_0)$ и $\Delta_0 L$	e_0	e_0 и $\Delta \varphi_{\Sigma}$	e_0 и $\Delta \varphi_{\Sigma}$ (Δf_{Σ})	e_0 и $\Delta_0 L$
Плавность ра- боты	$\Delta F (\Delta t_0$ и $\Delta f)$	Δt_0 и Δf	$\Delta_{\varphi} a$	$\Delta_{\varphi} a' (\Delta f)$	Δt	ΔF	$\Delta F (\Delta t)$	Δt
Контакт зубьев	ΔB_0	ΔB_0	Пятно контакта			ΔB_{Σ} , Δb_n Δt_0 и пятно контакта		Δb_n , Δt_0 и пятно контакта
Боковой зазор	$\Delta h (\Delta M)$	$\Delta h (\Delta M)$	$\Delta a (\Delta L)$	$\Delta a (\Delta L)$	ΔL	Δh	$\Delta h (\Delta L)$	$\Delta h (\Delta L)$
Примечание. В скобках указаны варианты.								

15. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Контроль параметров цилиндрических зубчатых колес по нормам кинематической точности

Контроль кинематической точности (ΔF_z). Кинематическая погрешность зубчатого колеса, т. е. ошибка, вносимая колесом в передаточное отношение кинематической цепи за время полного оборота колеса, выявляется при однопрофильном контроле.

Однопрофильный контроль осуществляется прибором, схема которого показана на рис. 29. На вертикальном шпинделе насажено уширенное промежуточное зубчатое колесо 2. Параллельно этому шпинделю расположен составной шпиндель: на внутреннем шпинделе 5 установлено проверяемое колесо 1, а на наружном 3 — эталонное колесо 4.

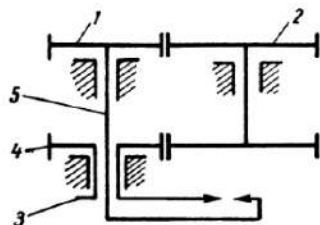


Рис. 29. Схема прибора БВ-608К для комплексной однопрофильной проверки кинематической погрешности зубчатого колеса

При вращении колеса 2 приводятся во вращение эталонное и проверяемое колеса. Эталонное колесо имеет то же число зубьев, что и проверяемое. Если проверяемое колесо имеет погрешности, то произойдет рассогласование вращения шпинделей 3 и 5, т. е. поворот их друг относительно друга. Этот поворот регистрируется.

Прибор для однопрофильного контроля может быть эффективен в производстве при постоянной номенклатуре колес. Для мелкосерийного и индивидуального производства используется универсальный однопрофильный прибор Челябинского завода БВ-936, а для мелко-модульных колес с диаметром до 76 мм — прибор МТ-2 завода МИЗ.

На основании результатов однопрофильного контроля по записям регистрирующего прибора можно судить о погрешности колеса по отдельным элементам: e_0 — радиальному биению; Δt_0 — отклонению основного шага; $\Delta \phi$ — погрешности профиля; c_n — величине колебания бокового зазора.

Контроль накопленной погрешности окружного шага (Δt_z). Одним из показателей кинематической точности является накопленная погрешность окружного шага колеса.

Для контроля накопленной погрешности окружного шага используется универсальный прибор БВ-584М, выпускаемый Ленинградским инструментальным заводом (ЛИЗ).

На штанге 1 (рис. 30) с центром 4 укреплен угловой прибор 3, а на станине находятся два диаметрально расположенные микроскопа 2. В зависимости от размеров проверяемого колеса 6 устанавливается (по высоте и радиальному расстоянию) измеритель-

ный узел 9. Перемещения наконечника 7, закрепленного в держателе 8, регистрируются по шкале 5.

На этом приборе можно контролировать: окружной шаг конических колес Δt , величину колебаний общей нормали $\Delta_o L$, радиальное биение e_o , отклонение основного шага Δt_o .

Для мелко модульных колес ЛИЗ выпускает аналогичный по конструкции прибор БВ-966.

В мелкосерийном и серийном производстве применяется метод определения накопленной ошибки окружного шага на угле 180° .

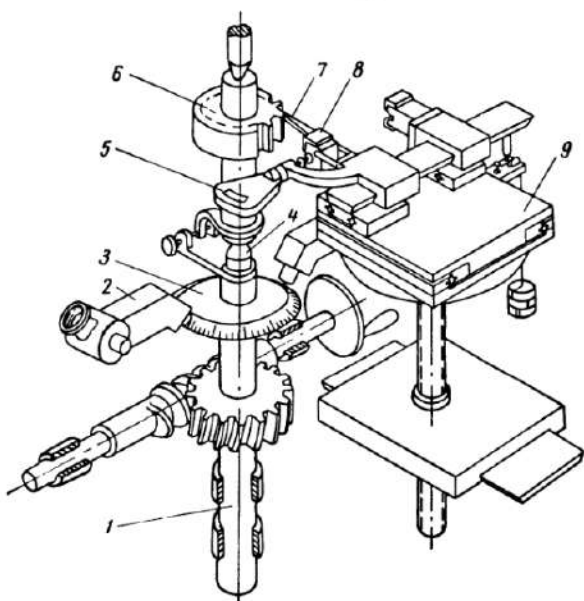


Рис. 30. Принципиальная схема прибора БВ-584М для контроля погрешности окружного шага

На плите монтируются два измерительных наконечника (рис. 31), расположенные под углом 180° . Один из наконечников неподвижен, а другой подвижный, сидящий на оси, воздействует на индикатор. Проверяемое колесо устанавливается на конусной оправке, закрепленной в той же плите.

Принцип работы заключается в следующем. Проверяемое колесо устанавливают на оправке, и наконечники вводят во впадины зубьев до соприкосновения с ними, как показано на рис. 31, б; шкалу индикатора устанавливают в нулевое положение. Затем наконечники выводят из впадин, проверяемое колесо поворачивают на один зуб и наконечники вновь приводят в первоначальное положение; при этом отсчетное устройство показывает отклонение положения новой пары зубьев. Затем складывают наибольшие

положительные и отрицательные отклонения и сумму делят пополам. Полученный результат покажет накопленную погрешность окружного шага.

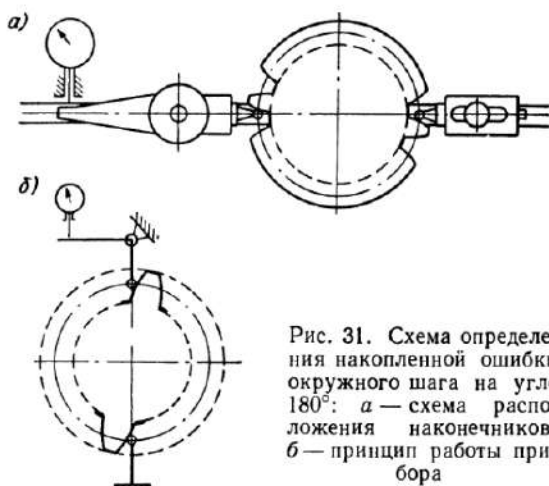


Рис. 31. Схема определения накопленной ошибки окружного шага на угле 180° : а — схема расположения наконечников; б — принцип работы прибора

Контроль радиального биения зубчатого венца e_0 . Биение e_0 определяют по разности радиального углубления во впадины зубьев конусного наконечника, выполненного в виде зуба рейки.

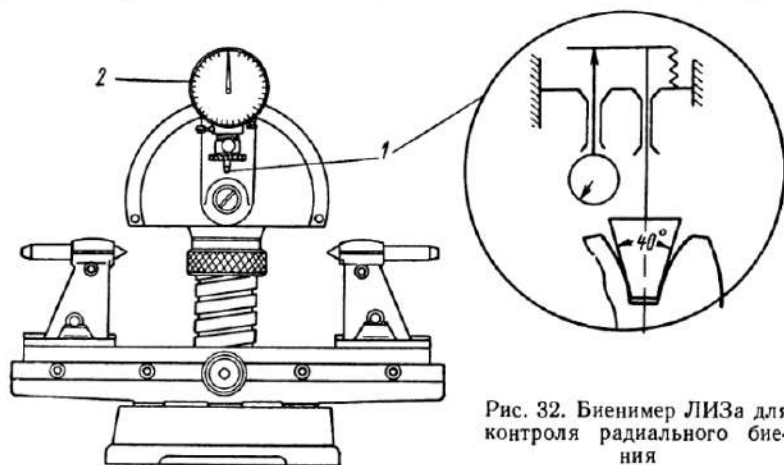


Рис. 32. Биенимер ЛИЗа для контроля радиального биения

На рис. 32 показан биенимер ЛИЗа для цилиндрических и конических колес. Конический наконечник 1 последовательно вводится во впадины проверяемого колеса, сидящего на оправке, установленной в центрах прибора. Сумма абсолютных величин

наибольших отклонений стрелки индикатора 2 влево и вправо от нуля дает величину биения зубчатого венца. К прибору прилагается набор наконечников.

При отсутствии биенимера величину радиального биения можно определить с помощью ролика ($d = 1,475 \text{ м}$) и индикатора (рис. 33). Оправка с проверяемым колесом 3 устанавливается в центрах. Во впадины колеса последовательно вводится ролик 2, с которым соприкасается наконечник индикатора 1. По показаниям индикатора определяется величина радиального биения.

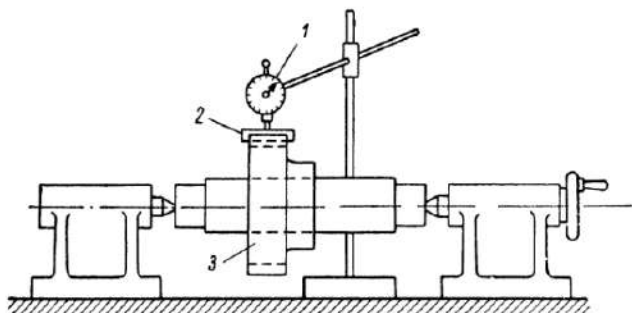


Рис. 33. Прибор для определения радиального биения зубчатого колеса с помощью ролика

Контроль колебания длины общей нормали $\Delta_0 L$. Длина общей нормали L для зацепления с углом $\alpha = 20^\circ$ определяется по формуле

$$L = [1,476 (2n - 1) + 0,014z] \text{ м мм}, \quad (29)$$

где z — число зубьев проверяемого колеса;

n — число зубьев между губками инструмента.

Обычно длину общей нормали не вычисляют по указанной формуле, а пользуются данными составленных по ней таблиц для колес с модулем $m = 1 \text{ мм}$, которые затем умножают на модуль измеряемого колеса (табл. 22).

Длину общей нормали можно измерять штангенциркулем, специальным зубомерным микрометром и другими приборами.

Зубомерный микрометр, в отличие от обычного, имеет измерительные губки в виде дисков (рис. 34). Охватив губками зубомерного микрометра несколько зубьев, измеряют длину L на колесе трижды в одном и том же месте, покачивая всякий раз микрометр. За действительный размер L принимают среднее из трех промеров. Разность между наибольшим и наименьшим значениями (измерение ведется по всей окружности колеса) не должна превышать допуска $\delta_0 L$ по ГОСТу 1643—56. Если измеренный в процессе нарезания колеса размер больше допустимого, то производится дополнительное врезание (в тело колеса) режущего инструмента.

Длина общей нормали L в м.м для зубчатых колес при $m = 1$, $\alpha_d = 20^\circ$

z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	
6	4,5122	22	7,6885	38	13,8168	54	6	16,9930	70	23,1214	86	29,2490	102	35,3780	12	10	29,2777	29,2917	29,3057	106	35,4340
7	4,5263	23	7,7025	39	13,8308	55		19,9592	71	23,1354	87	29,2637	103	35,3920							
8	4,5403	24	7,7165	40	13,8448	56		19,9732	72	23,1494	88	29,2777	104	35,4060							
9	4,5543	25	7,7305	41	13,8588	57		19,9872	73	26,1155	89	29,2917	105	35,4200							
10	4,5683	26	7,7445	42	13,8728	58		20,0012	74	26,1295	90	29,3057	106	35,4340							
11	4,5823	27	7,7585	43	13,8868	59	7	20,0152	75	26,1435	91	32,2719	107	35,4480							
12	4,5963	28	10,7246	44	13,9008	60		20,0292	76	26,1575	92	32,2859	108	35,4620							
13	4,6103	29	10,7386	45	13,9148	61		20,0432	77	26,1715	93	32,2999	109	35,4760							
14	4,6243	30	10,7526	46	16,8810	62		20,0572	78	26,1856	94	32,3139	110	38,4423							
15	4,6383	31	10,7666	47	16,8950	63		20,0718	79	26,1995	95	32,3279	111	38,4563							
16	4,6523	32	10,7806	48	16,9090	64		23,0373	80	26,2135	96	32,3419	112	38,4703							
17	4,6663	33	10,7946	49	16,9230	65		23,0513	81	26,2275	97	32,3559	113	38,4842							
18	4,6803	34	10,8086	50	16,9370	66	8	23,0654	82	29,1937	98	32,3699	114	38,4982							
19	7,6464	35	10,8226	51	16,9510	67		23,0794	83	29,2077	99	32,3839	115	38,5122							
20	7,6605	36	10,8364	52	16,9650	68		23,0934	84	29,2217	100	35,3501	116	38,5262							
21	7,6745	37	13,8028	53	16,9790	69		23,1074	85	29,2357	101	35,3641	117	38,5402							

Продолжение табл. 22

z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L	z	n	L
118		41,5064	131		44,6406	144	16	47,7748	157		53,8611	170	19	56,9953	183		63,0816	196		66,2158			
119		41,5204	132		44,6546	145		50,7410	158		53,8751	171		57,0093	184		63,0956	197	22	66,2298			
120		41,5344	133	15	44,6686	146		50,7550	159	18	53,8891	172		59,9755	185		63,1236	198		66,2438			
121		41,5485	134		44,6826	147		50,7690	160		53,9031	173		59,9895	186	21	63,1236	199		69,2099			
122	14	41,5624	135		44,6966	148		50,7829	161		53,9171	174		60,0043	187		63,1376	200		69,2239			
123		41,5764	136		47,6628	149	17	50,7969	162		53,9311	175		60,0174	188		63,1516	201		69,2379			
124		41,5904	137		47,6768	150		50,8109	163		56,8973	176	20	60,0314	189		63,1656	202	23	69,2519			
125		41,6044	138		47,6908	151		50,8249	164		56,9113	177		60,0454	190		66,1318	203		69,2659			
126		41,6184	139	16	47,7047	152		50,8390	165		56,9253	178		60,0594	191		66,1458	204		69,2799			
127		44,5846	140		47,7187	153		50,8530	166	19	56,9393	179		60,0734	192	22	66,1598	205		69,2939			
128	15	44,5986	141		47,7327	154		53,8191	167		56,9533	180		60,0875	193		66,1738						
129		44,6126	142		47,7467	155	18	53,8332	168		56,9673	181	21	63,0537	194		66,1878						
130		44,6266	143		47,7608	156		53,8471	169		56,9813	182		63,0677	195		66,2018						

Примечание. z — число зубьев колеса; n — число зубьев, охватываемых при измерении.

Зубомерным микрометром можно определить основной шаг t_0 и модуль колеса m при ремонте передачи по поврежденным образцам. Для определения основного шага измеряют сначала

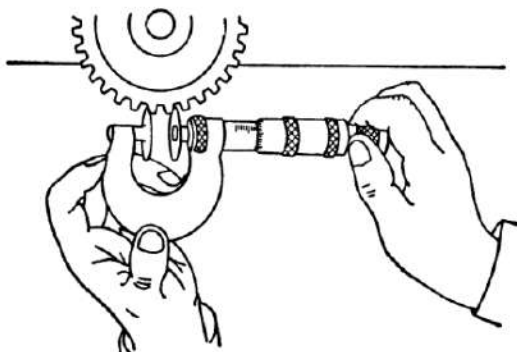


Рис. 34. Зубомерный микрометр

длину общей нормали, например в охвате пяти зубьев, а затем шести. Разность измерений будет равна основному шагу колеса t_0 .

Модуль определяется из формулы (29):

$$m = \frac{L}{1,476(2n-1) + 0,014z} \text{ мм.}$$

Для контроля колебаний длины общей нормали применяется выпущен-

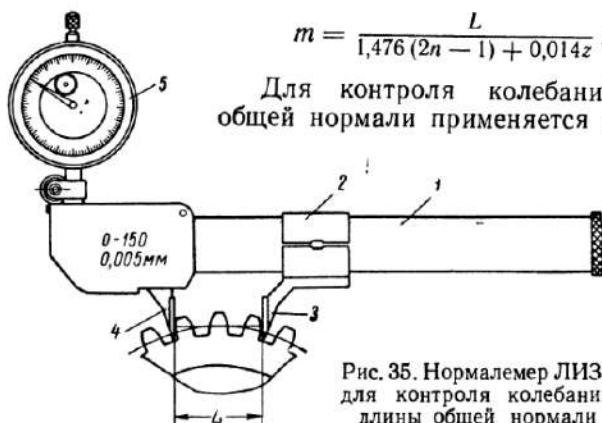


Рис. 35. Нормалемер ЛИЗ для контроля колебаний длины общей нормали

ный ЛИЗом нормалемер (рис. 35). На круглой штанге прибора 1 размещены два наконечника с параллельными плоскостями: один из них установлен жестко, другой 3 вместе с втулкой 2 перемещается только при настройке прибора. Чувствительный наконечник 4 для обеспечения параллельности губок подвешен на пружинном параллелограмме. В процессе измерения перемещения наконечника передаются на индикатор 5.

Нормалермер определяет только колебания длины общей нормали, поэтому настройку его производят по плиткам на номинальный размер.

Контроль колебаний измерительного межцентрового расстояния. Контроль колебаний измерительного межцентрового расстояния за полный оборот колеса ($\Delta_{\theta}a$ — одного из показателей кинематической погрешности); за поворот колеса на один зуб ($\Delta_{\gamma}a$ — показателя плавности работы колеса) и предельных отклонений межцентрового расстояния ($\Delta_{\theta}a$ и $\Delta_{\gamma}a$ — показателя бокового зазора передачи) производится на приборе для двухпрофильного контроля; схема этого прибора показана на рис. 36.

Прибор состоит из станины, на которой перемещаются каретки с установленными на них сменными оправками. На оправках насажены измерительное (точное) колесо 1 и проверяемое колесо 2. Подвижная каретка пружиной 4 прижимается к каретке контрольного колеса 1, создавая плотное беззазорное зацепление.

По блоку концевых мер (плиток) устанавливается номинальный размер межцентрового расстояния. Величина блока равна

$$A = (r_1 + r_2) - (R_1 + R_2),$$

где r_1 и r_2 — радиусы начальных окружностей сцепляющихся колес;

R_1 и R_2 — радиусы оправок.

Наконечник индикатора 3 подводят до упора в подвижную каретку и, устанавливая стрелку индикатора на нуль, закрепляют каретку колеса. Блок концевых мер удаляют и вводят колеса в зацепление.

При непрерывной обкатке колес неточности отдельных элементов проверяемого колеса обуславливают отклонение межцентрового расстояния от номинального размера, что вызывает смещение подвижной каретки, регистрируемое индикатором 3. Разность между наибольшим и наименьшим измеренными межцентровыми расстояниями за полный оборот колеса и при повороте колеса на один зуб показывает величину отклонений межцентрового расстояния $\Delta_{\theta}a$ и $\Delta_{\gamma}a$ (соответственно при полном обороте и при повороте на один зуб колеса).

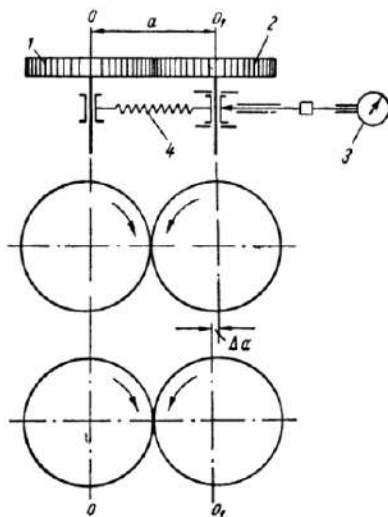


Рис. 36. Межцентромер для контроля колебаний измерительного межцентрового расстояния

Выпускаются межцентрометры с максимальным расстоянием между центром оправок 300 мм (прибор КДП-300) и 600 мм (прибор КДП-600).

На приборах проверяются цилиндрические прямозубые и косозубые колеса внешнего и внутреннего (КДП-600) зацепления.

Контроль параметров цилиндрических зубчатых колес по нормам плавности

Контроль циклической погрешности (ΔF). Циклическую погрешность цилиндрических зубчатых колес можно определять на приборе для однопрофильного контроля (рис. 29) по средней величине многократно повторяющихся изменений, показываемых прибором за один полный оборот проверяемого колеса. При рассмотрении кривой, изображающей результаты комплексной однопрофильной проверки, заметны колебания, отражающие проявление циклической погрешности. Для ее определения измеряют величины колебаний и, сложив все полученные значения, делят их сумму на число измеренных колебаний.

На этом же приборе наибольшая разность в показаниях прибора за полный оборот колеса показывает величину кинематической погрешности (см. выше).

Для контроля циклической погрешности широких косозубых колес применяются волномеры. Эти приборы служат также для выявления источников циклической погрешности.

Контроль разности окружных шагов ($\Delta t = t_2 - t_1$). Для оценки точности шага производят сравнение величин всех шагов и наибольшую их разность сравнивают с допустимой по ГОСТу 1643—56. Контрольный прибор настраивается по произвольному окружному шагу и все остальные шаги сравниваются с ним.

Для широких косозубых и шевронных колес разность окружных шагов Δt является единственным способом проверки (см. рис. 35), характеризующим плавность работы колес, и ГОСТом предусмотрена для 7-й и более грубых степеней точности.

Проверка разности окружных шагов производится накладным шагомером (рис. 37). Шагомер настраивается по любой паре зубьев колеса на величину окружного шага и этот размер сравнивают с остальными шагами колеса. Неподвижный наконечник 1 можно переставлять в пазу в зависимости от модуля проверяемого колеса. Наконечник 2 подвешен на плоских пружинах и передает отклонения через рычаг на индикатор.

Установка (база) прибора на проверяемом колесе производится по окружности выступов и торцу колеса с помощью боковых держателей и упора. Выпускают две модели приборов: № 1 — для колес с модулями 3—15 мм, № 2 — для колес с модулями 10—26 мм.

Контроль отклонений основного шага. От равенства размеров основного шага шестерен зависит плавность работы прямозубых цилиндрических передач. В широких косозубых колесах отклонения основного шага (Δt_0) влияют на величину контакта по высоте зуба.

Отклонения основного шага возникают из-за ошибок профиля фрезы, неточности ее установки, или заточки, а при зубодолблении из-за ошибок профилей зубьев долбяка. Таким образом, основной причиной ошибок основного шага является погрешность режущего инструмента.

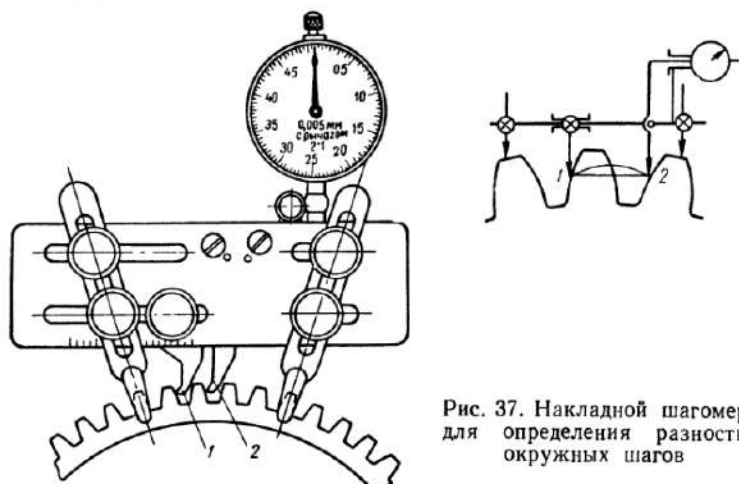


Рис. 37. Накладной шагомер для определения разности окружных шагов

Контроль основного шага осуществляется прибором, называемым *шагомером*. Измерение производится по нормали к двум соседним одноименным профилям (рис. 38, а). Шагомер настраивается по плиткам и устанавливается на контролируемое колесо (рис. 38, б). Покачивая прибор, как бы обкатывая зуб, находят наименьшие показания индикатора, определяют величину отклонения шага от номинального значения и сравнивают ее с допустимой (ГОСТ 1643—56). Приборы этого типа контролируют колеса с модулем 2—20 мм.

ЛИЗ выпускает новые приборы с конструктивными улучшениями: БВ-1080 — для модулей 2—10 мм, БВ-1081 — для модулей 10—16 мм и БВ-1101 — для модулей 16—36 мм, с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм.

Контроль основного шага можно производить также на приборах БВ-584, БВ-966 и УЗП-400 (МИЗ).

Контроль профиля (Δf). Проверка производится путем сравнения действительного профиля зуба с теоретической формой профиля, очерченного по эвольвенте. Существуют следующие способы проверки:

1) проверка на просвет шаблонами (рис. 39, а) для колес 9—11-й степени точности;

2) сличение проекции контура прямого зуба (с модулем до 2 мм), увеличенного в 30—100 раз, с теоретическим контуром, вычерченным (на стекле или алюминиевом листе) с тем же увеличением;

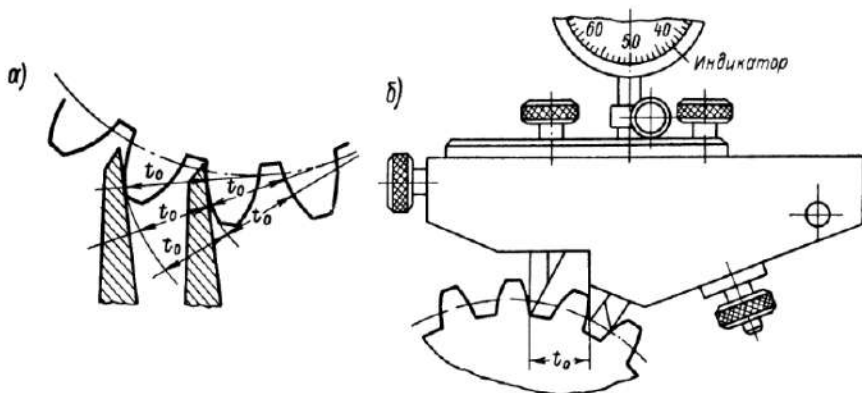


Рис. 38. Шагомер для определения отклонения от номинала основного шага: а — принцип измерения; б — способ измерения

3) измерение отклонений действительного профиля зуба от теоретической эвольвенты приборами, называемыми эвольвентомерами.

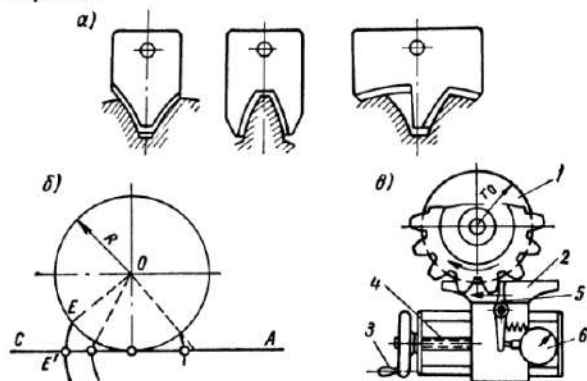


Рис. 39. Проверка профиля зуба: а — с помощью шаблонов «на просвет»; б — принцип эвольвентомера; в — схема эвольвентомера

Эвольвентометры строятся по принципу воспроизведения образования эвольвенты, как следа точки E' (рис. 39, б) прямой AC , обкатываемой по окружности радиуса R . Точка E' образует эвольвенту EE' . Индивидуально-дисковый эвольвентомер (рис. 39, в) имеет следующее устройство. На одной оправке насажены и жестко соединены между собой сменный диск 1 и прове-

ряемое колесо 1. Диаметр диска равен диаметру основной окружности колеса r_0 . Сменный диск обкатывается без скольжения по закаленной линейке 2, которая составляет часть подвижной каретки эвольвентомера. Вращением маховичка 3 приводят во вращение винт 4, отчего каретка с линейкой движется вдоль оси винта, а линейка, прижатая к сменному диску силой трения, поворачивает его вместе с проверяемым колесом.

Измерительный наконечник 5, соприкасающийся одним своим концом с профилем зуба колеса, имеет ось вращения, расположенную на каретке, а другой конец упирается в индикатор 6 или самописец. Точка касания наконечника, находясь на грани линейки 2, должна при вращении колеса описывать эвольвенту; если проверяемый профиль зуба является точным, то наконечник и стрелка индикатора остаются неподвижными по отношению к грани линейки, а самописец начертит прямую линию.

Если профиль зуба неправильный, то стрелка индикатора или самописец покажет величину отклонения профиля Δf .

Недостатком этих приборов является то, что для колес разного диаметра требуются разные диски, поэтому их можно рекомендовать для условий массового и крупносерийного производства. В индивидуальном производстве применяются универсальные приборы рычажно-кулачкового типа.

Контроль цилиндрических зубчатых колес по нормам контакта

Контроль пятна контакта. Пятно контакта определяется в процентах длины и высоты боковой поверхности зубьев (см. табл. 20).

Проверку пятна контакта производят в собранной передаче или на контрольно-обкатном станке в сопряжении контролируемого колеса с измерительным колесом.

Боковую поверхность зубьев меньшего колеса в передаче или измерительного колеса покрывают тонким слоем (4—6 мкм) краски. Предварительно краску (голландскую сажу, берлинскую лазурь, свинцовые или цинковые белила для оксидированных поверхностей) наносят на поверхность зубьев. После обкатки колес в обоих направлениях при легком торможении ведомого колеса определяется степень прилегания сопряженных профилей. Контроль по пятну контакта является комплексным, надежным и весьма простым методом.

Контроль бокового зазора в передаче

Величина бокового зазора в передаче не зависит от точности изготовления зубчатых колес.

На величину бокового зазора в передаче оказывает влияние смещение исходного контура при изготовлении каждого колеса, а

также отклонение межцентрового расстояния. Отклонения бокового зазора за счет смещений исходного контура могут определяться контролем длины общей нормали или толщины зуба.

Величину бокового зазора можно проверять щупом, вводя его в нескольких положениях между нерабочими профилями зубьев.

Контроль смещения исходного контура (Δh). Положение исходного контура по отношению к оси зубчатого колеса определяет толщину зуба, что влияет на зазор в передаче. При удалении

рейки толщина зуба увеличивается и, наоборот, при приближении — уменьшается.

Для контроля смещения исходного контура, обеспечивающего заданный боковой зазор в передаче, предназначен тангенциальный зубомер (рис. 40). В корпусе симметрично относительно индикатора расположены измерительные губки, грани которых составляют угол 40° . Измерительные губки разводятся при настройке на различные размеры контролируемых колес по роликам, прилагаемым к прибору (для каждого модуля), а стрелка индикатора приводится к нулю. Зубомер устанавливают на зуб колеса и, слегка покачивая, отмечают наибольшую величину отклонений стрелки индикатора.

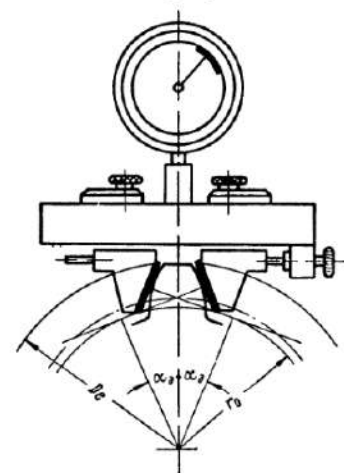


Рис. 40. Тангенциальный зубомер для контроля смещения исходного контура

Отклонение стрелки индикатора влево от нуля указывает на увеличение толщины зуба, а отклонение вправо — на уменьшение толщины зуба. Связь между смещением Δh исходного контура и отклонением толщины зуба Δs выражается формулой

$$\Delta s = 0,73 \Delta h. \quad (30)$$

Тангенциальный зубомер дает возможность определить непосредственную величину, на которую необходимо заглубить инструмент в заготовку, чтобы получить требуемую толщину зуба. Однако недостатком его является то, что наружный диаметр колеса должен быть изготовлен с жестким допуском, так как используется в качестве базы измерения.

Контроль толщины зубьев. Для контроля толщины зуба можно применять кромочный и оптический штангензубомеры.

Кромочный штангензубомер состоит из двух взаимно перпендикулярных линеек 9 и 1 (рис. 41), по которым скользят нониусы 7 и 3; каждый из них связан с губкой 6 и высотомером 5.

Толщина зуба измеряется по шкале 9, а установка высотомера производится по шкале 1.

Толщина зуба по постоянной хорде

$$s_{п.х} = 1,387t \text{ мм}, \quad (31)$$

а высота от вершины зуба до постоянной хорды

$$h_{п.х} = 0,7476t \text{ мм}. \quad (32)$$

На шкале высоты головки зуба, имеющейся на зубомере, при помощи винта с гайкой 2 устанавливается размер $h_{п.х}$; после этого измеряется фактическая толщина зуба перемещением губки 6 по отношению к губке 4 при помощи винта с гайкой 8. Разность между измеренной величиной и расчетной указывает величину отклонения.

Оптический зубомер (рис. 42) также предназначен для измерения толщины зуба по хорде. В корпусе прибора имеются две шкалы — вертикальная и горизонтальная. По первой устанавливается упор, а по второй определяется толщина зуба.

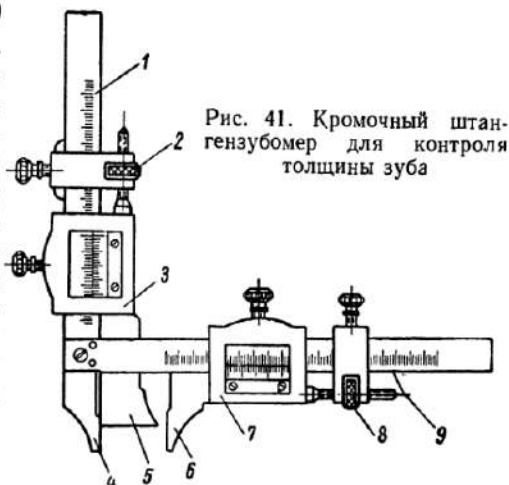


Рис. 41. Кромочный штангензубомер для контроля толщины зуба

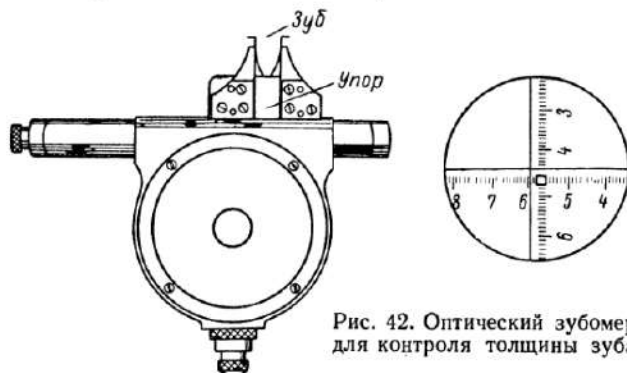


Рис. 42. Оптический зубомер для контроля толщины зуба

16. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Допуски конических зубчатых передач

Нормы точности на конические передачи установлены ГОСТом 1758—56, который распространяется на передачи с любым межосевым углом, с механически обработанными зубчатыми колесами

и исходным контуром по ГОСТу 3058—54 при модуле свыше 1 до 30 мм. Построение ГОСТа 1758—56 ничем не отличается от ГОСТа 1643—56 на цилиндрические передачи, а нормы точности на многие показатели совпадают. Стандарт устанавливает также 12 степеней точности. Каждая степень точности содержит три вида норм (как и для цилиндрических передач) кинематической точности колеса; плавности работы колеса, контакта зубьев.

Стандартом установлены четыре вида сопряжения, определяющие минимальный боковой зазор между зубьями. Основными контролируемыми параметрами конических зубчатых колес являются: разность соседних окружных шагов Δf ; накопленная погрешность окружного шага Δf_z ; погрешность направления зуба; смещение вершины делительного конуса; отклонение толщины зуба; погрешность профиля.

Для конических передач с модулем до 1 мм допуски приведены в ГОСТе 9368—60.

Приборы для контроля конических колес

Проверка конических колес состоит из контроля заготовок, технологического и окончательного контроля. Контроль заготовок заключается в проверке точности базовых поверхностей. Технологический контроль позволяет установить причины, вызывающие погрешности в зависимости от состояния станка и инструмента. Окончательный контроль (комплексный) дает представление об эксплуатационных качествах колеса, но не об отдельных ошибках элементов, за исключением некоторых, например ΔF_z , $\Delta_0 a$, c_n и др.

Контроль ряда параметров конических колес производится при помощи тех же приборов, что и контроль цилиндрических колес; изменяется лишь установка осей приборов и измеряемых колес.

На рис. 43 показана проверка профиля, направления и биения зуба конического колеса. Биение зубьев (рис. 43, а) проверяется коническим наконечником 1, вводимым во впадины зубьев. Разность показаний индикатора 2 и есть величина биения зубчатого венца. Эта проверка может производиться в центрах на оправке индикатором с шариковым наконечником.

Профиль зуба контролируется с использованием измерительного микроскопа. Контролируемое колесо закрепляется в приспособлении (рис. 43, б). Ось зуба колеса совмещают с направлением перемещения каретки микроскопа и, передвигая каретку в направлении от головки к ножке зуба, измеряют на отдельных расстояниях от вершины толщину зуба. Сравнение полученных значений с расчетными покажет отклонение профиля.

На рис. 43, в показан метод определения погрешности, направления зубьев конического колеса с помощью игл.

На рис. 44 показана установка для комплексной проверки конических колес. Проверка производится при однопрофильном зацеплении. На оправке 8, находящейся в корпусе 1, нарезана рейка, сцепленная с длинным цилиндрическим колесом 9, вращаемым рукояткой 10. На оправку насаживается измерительное колесо 7, а на

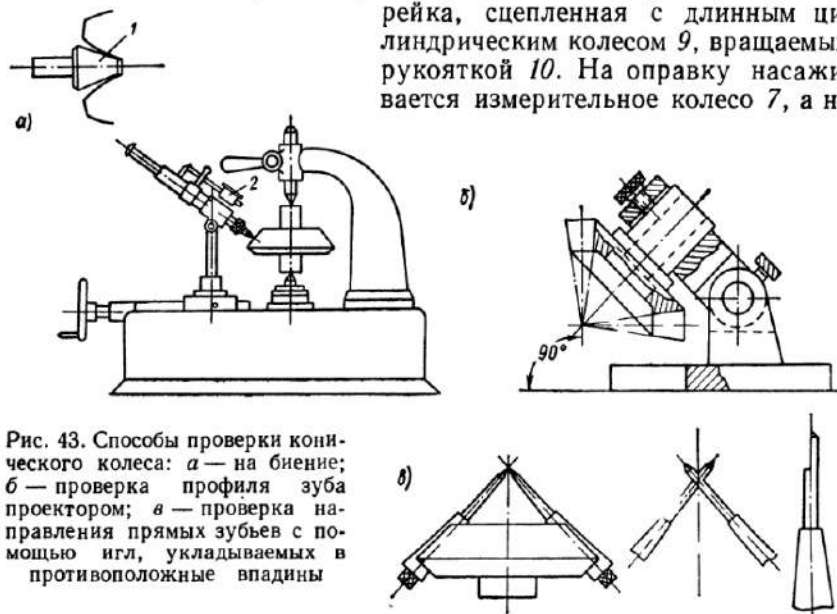


Рис. 43. Способы проверки конического колеса: а — на биение; б — проверка профиля зуба проектором; в — проверка направления прямых зубьев с помощью игл, укладываемых в противоположные впадины

валик 3, расположенный в корпусе 4, — измеряемое колесо 6. Действуя рукоятками 10 и 2, производят зацепление колес. Покачиванием колеса 6 определяют величину бокового зазора с помощью индикатора 5. Затем покрывают зубья одного из колес 7 краской и вращают рукоятку 2, вследствие чего на зубьях колеса 6 получают пятна контакта, по которым можно судить о качестве колеса в отношении направления зубьев, их профиля и других элементов.

Широко применяется контроль конических колес на контрольно-обкатных станках. На них проверяют боковой зазор, пятно контакта, уровень шума. Проверка пятна контакта широко распространена в производстве зубчатых конических

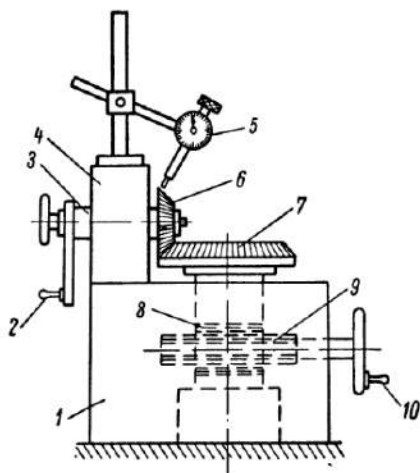
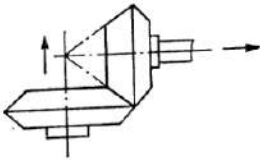
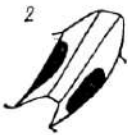
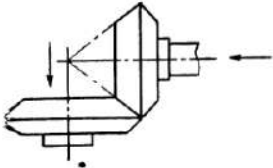
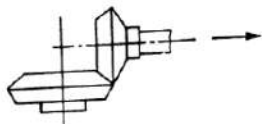
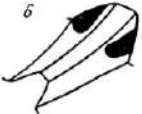
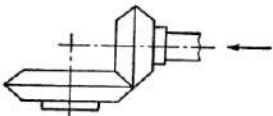


Рис. 44. Прибор для контроля конических зубчатых колес по комплексному методу

Расположение пятна контакта на боковых поверхностях зубьев
конических колес и способы исправления

Характер пятна контакта на зубьях шестерни	Способ исправления
Пятно на головке зуба 	
Пятно на ножке зуба 	
Хромое прилегание 	Исправить пятно контакта зубьев на ведущем колесе в зависимости от направления рабочего вращения по рис. 1 или 2
Хромое прилегание 	

Характер пятна контакта на зубьях шестерни	Способ исправления	
Пятно на ножке зуба  5	Регулируется за счет увеличения бокового зазора 	
Пятно у большого дополнительного конуса  6	Регулируется за счет уменьшения бокового зазора 	
Перекрестное прилегание. На ведущем профиле пятно на носке  7	Если плоскость прилегания составляет 5/8 длины зуба, шестерни можно устанавливать в передаче	
Перекрестное прилегание. На профиле зуба ведущего колеса пятно у большого дополнительного конуса  8	Шестерни нельзя устанавливать	Проверить вертикальные и угловые погрешности отверстий корпуса

колес для определения корректировок зубообрабатывающих станков с целью получения требуемого пятна контакта в изготовленных передачах.

В заводской практике часто проверка на пятно контакта является единственной при изготовлении колес.

Проверка пятна контакта может осуществляться как на контрольно-обкатных станках, так и в собранной передаче с целью определения размера пятна и расположения его на боковых поверхностях зубьев. Пятно контакта считается правильно расположенным, если при обкатке с легкой нагрузкой оно находится на боковой поверхности зуба ближе к малому дополнительному конусу колеса, а при полной нагрузке — посередине длины зуба.

Характер неправильного расположения пятна контакта и способы исправления его при монтаже передачи приводятся в табл. 23.

17. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Допуски червячных передач

Точность червячных передач регламентирована ГОСТом 3675—56, который предусматривает 12 степеней точности. По стандарту червячные передачи делятся на кинематические с регулируемым взаимным положением червяка и колеса и силовые с нерегулируемым положением червяка и колеса. Стандартом установлены нормы точности для червяков, червячных колес, кинематических червячных передач, для монтажа силовых червячных передач и нормы бокового зазора. В этих нормах содержатся комплексные показатели и комплексы поэлементных показателей точности.

ГОСТ 3675—56 охватывает силовые передачи с осевым модулем свыше 1 до 30 мм и кинематические с осевым модулем свыше 1 до 16 мм.

Допуски червячных передач с модулем до 1 мм содержатся в ГОСТе 9774—61.

Приборы для контроля червячных колес

Основными погрешностями червячных колес являются ошибки шага и радиальное биение.

Ошибки шага возникают из-за несовпадения технологических и эксплуатационных баз, т. е. вследствие торцевого биения заготовки, неточности цепи деления станка и т. п. Измерение окружных шагов и их разности, а также измерение биения червячных колес производится теми же приборами, которые применяются для контроля цилиндрических колес.

Окончательный контроль основных элементов червячной пары производится комплексной проверкой (рис. 45). Такой проверкой определяются правильность межосевого расстояния, пятна касания (по краске), бокового зазора между витками червяка и зубьями червячного колеса.

18. ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

При зубонарезании шестерен обработанные поверхности не являются абсолютно гладкими. На них всегда имеются микронеровности (следы обработки в виде чередующихся выступов и впадин). Эти неровности получаются от воздействия режущих граней зуборезного инструмента и зависят от условий обработки.

Чистота обработанной поверхности зуба, как и других видов механически обработанных поверхностей определяется высотой гребешков и впадин.

В зависимости от величины неровности чистота поверхности, согласно ГОСТу 2789—59, делится на 14 классов. Наиболее чистая поверхность соответствует 14-му классу, наиболее грубая — 1-му классу.

Для обозначения всех классов чистоты поверхности установлен знак ∇ , рядом с которым указывается номер класса; например, $\nabla 7$ означает 7-й класс чистоты поверхности.

Определение чистоты поверхности осуществляется двумя основными методами — качественным и количественным. Качественный метод заключается в сравнении обработанной поверхности с эталоном чистоты; количественный метод основан на измерении неровностей специальными приборами.

В заводских условиях чистота обработанной поверхности по эталону определяется до 7-го класса с возможной ошибкой на один класс.

При применении лупы с 5—10-кратным увеличением можно определить чистоту поверхности до 8—9-го классов с погрешностью не более чем на один класс.

Чистота поверхности зубьев колеса при нарезании червячной фрезой в обычных условиях соответствует 4—6-му классам, при нарезании точных зубчатых колес на специальных станках прецизионным инструментом — 7 и 8-му классам; при более точной обработке (шевингование, шлифование) — 7—9-му классам.

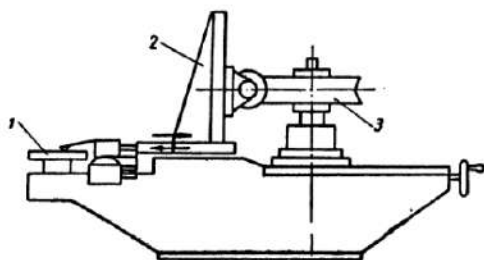


Рис. 45. Комплексная проверка червячного колеса:

1 — индикатор; 2 — плавающий суппорт; 3 — червячное колесо

НАРЕЗАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА УНИВЕРСАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

19. ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

Нарезание зубчатых колес на универсальных фрезерных станках производится с использованием делительных головок. В настоящее время наибольшее распространение получили универсальные делительные головки УДГ-100, УДГ-135, УДГ-160, УДГ-200, УДГ-250, УДГ-320, УДГ-400, предназначенные для фрезерных, зубофрезерных, сверлильных, разметочных и других работ, связанных с поворотом детали на заданный угол. Они позволяют делить окружность на любое число частей до 400.

Обработку деталей с помощью делительных головок можно производить в центрах, патроне или на шпиндельной оправке. Конструктивно универсальные делительные головки унифицированы. Рассмотрим их устройство (рис. 46).

На чугунное основание 6 устанавливается корпус 5, который может поворачиваться в вертикальной плоскости. В корпусе УДГ расположен шпиндель со сквозным отверстием; с обеих сторон это отверстие расточено под конус Морзе. С передней стороны шпинделя устанавливают центр 2, с задней стороны — оправку для дифференциального деления. Передний конец шпинделя имеет центрирующий пояс для установки планшайбы с самоцентрирующим патроном. Здесь же установлен делительный диск 1 для непосредственного деления, имеющий 24 отверстия, фиксатор 4 и поводок 3. В средней части шпинделя располагается червячное колесо, которое приводится во вращение червяком, установленным в эксцентриковой втулке, благодаря которой он может быть выведен из зацепления с червячным колесом. Червяк приводится во вращение с помощью рукоятки с фиксатором 8, которая установлена на валу 9. Здесь же расположен сменный делительный диск 7, сидящий на полой валу, внутри которого проходит вал привода червяка. На полой валу делительного диска установлена коническая шестерня, осуществляющая доворот делительного диска при дифференциальном делении.

В комплект универсальной делительной головки входит задняя бабка 11 и люнет 10, необходимый для обработки длинных и тонких деталей. Передаточное отношение червячной пары универсальных делительных головок выбрано 1 : 40. С их помощью можно осуществлять непосредственное, простое и дифференциальное деление.

В табл. 24 дана техническая характеристика некоторых моделей УДГ.

Рассмотрим способы деления окружности заготовок.

Непосредственное деление (табл. 25.1). Деление окружности и поворот шпинделя 1 производятся с помощью делительного диска 2 и фиксатора 3 при выведенном из зацепления червяке.

На всех делительных головках этот диск имеет 24 отверстия, следовательно, этим методом можно осуществить деление окружности заготовки шестерни лишь на число, кратное 24, т. е. 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24. В этом и заключается недостаток данного метода.

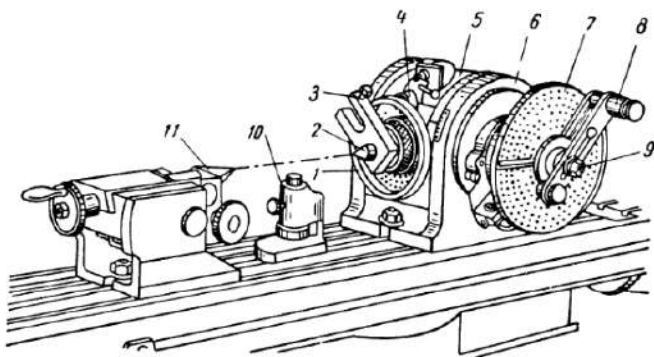


Рис. 46. Универсальная делительная головка и ее принадлежности

Простое деление (табл. 25.2). Вращение шпинделя 1 осуществляется рукояткой 8 с пружинящим фиксатором 7 через цилиндрические колеса 5 и 4 с равными числами зубьев, червяк 2 и червячное колесо 3. При одном обороте рукоятки 8 шпиндель делает $1/40$ часть оборота, а для полного оборота шпинделя ведущему валу необходимо сделать 40 оборотов. Число оборотов ведущего валика, которое необходимо сделать для полного оборота шпинделя, называется *характеристикой* делительной головки и обозначается буквой *N*. Характеристика определяет полное передаточное число от рукоятки до шпинделя независимо от схемы передачи. Для всех УДГ характеристика равна 40.

Наличие в головке червячной передачи увеличивает точность деления по сравнению с непосредственным делением, так как в этом случае ошибки в расположении делений на диске будут влиять в 40 раз меньше, чем при непосредственном делении.

Определение числа оборотов рукоятки 8 для деления на таких головках с характеристикой *N* производится по формуле (33), исходя из следующего: для полного оборота шпинделя требуется *N*

Техническая характеристика делительных головок

Конструктивные данные			УДГ-100	УДГ-135	УДГ-160
Высота центров в мм			100	135	160
Конус в шпинделе (Морзе)			3	4	5
Резьба конца шпинделя			M39×4	M45×4,5	M64×4,5
Угол вертикального поворота шпинделя в град			+90; —10	+90; —10	+90; —10
Характеристика головок			40	40	40
Число отверстий в дисках	Диск I	Сторона А	24, 25, 28, 30, 34, 37	24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43	
		Сторона Б	38, 39, 41, 42, 43	46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 66	
	Диск II	Сторона А	46, 47, 49, 51, 53, 54	—	—
		Сторона Б	57, 58, 59, 62, 66	—	—
Цена деления диска непосредственного деления в град			1	1	1
Вес делительной головки в кг			42	85	93
Габариты основания головки в мм			140×210	206×260	206×295

Примечание. С 1958 г. на головках УДГ-135 и УДГ-160 устанавливаются диски с числом отверстий: 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

оборотов рукоятки, а чтобы шпиндель повернуть на некоторый угол, равный $\frac{360^\circ}{z}$, очевидно, потребуется в z раз меньше оборотов

$$n = \frac{N}{z}, \quad (33)$$

где n — число оборотов рукоятки;

N — характеристика головки;

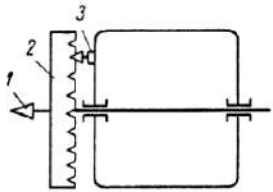
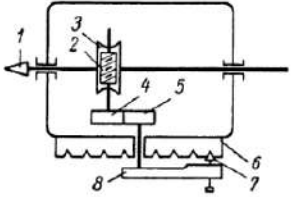
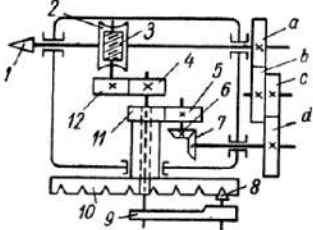
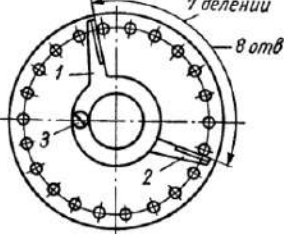
z — заданное число делений.

Пример 1. Требуется нарезать зубчатое колесо с 16 зубьями. Определить число оборотов рукоятки.

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{16} = 2,5.$$

Для определения части оборота рукоятки служит диск 6 (см. табл. 25.2) с отверстиями. Универсальная головка комплектуется делительными дисками со следующими числами отверстий: 16, 17, 19, 21, 29, 30, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

Принципиальные схемы делительных головок и их узлов

№ схемы	Схема	Назначение
1		Для непосредственного деления
2		Для простого деления
3		Для дифференциального деления
4		Раздвижной сектор для облегчения отсчетов

Для деления окружности заготовки, например, на 18 частей, число оборотов рукоятки

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{18} = 2 \frac{2}{9}.$$

В этом случае необходимо выбрать круг с числом отверстий, кратным 9, т. е. с 54 отверстиями, тогда $n = 2 \frac{12}{54}$. Для поворота заготовки на один зуб рукоятку 8 следует повернуть на два полных и $\frac{12}{54}$ оборота.

Для облегчения отсчета числа отверстий на ось рукоятки 8 насажен раздвижной сектор, состоящий из двух колец с планками 1 и 2 (табл. 25.3). Эти планки раздвигаются на требуемый угол и закрепляются винтом 3.

Пример 2. Требуется нарезать колесо $z = 120$ и определить число оборотов рукоятки 8.

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3}.$$

Так как на диске нет окружности с тремя отверстиями, то следует взять окружность с числом отверстий, кратным 3, например с числом 21 ($\frac{1}{3} = \frac{7}{21}$), т. е. по окружности с числом отверстий 21, нужно повернуть рукоятку на 7 делений.

Сначала фиксатор вводят в любое отверстие окружности с 21 делением и к нему подводят левую планку 1 сектора. Правую планку 2 устанавливают на 7 делений (8 отверстий) и закрепляют винтом 3. Фрезеруют первую впадину и стол станка возвращают в исходное положение. Затем поворачивают рукоятку 8 и фиксатор ставят в отверстие, находящееся у правой ножки. (Если есть целое число оборотов рукоятки, то сначала делают полный оборот рукоятки, а затем — часть оборота). После этого сектор вращают по часовой стрелке, пока левая ножка не коснется фиксатора. Дальше процесс повторяется.

Пример 3. Нарезать колесо $z = 200$ и определить число оборотов рукоятки.

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{200} = \frac{1}{5}.$$

В наборе имеется диск с числом отверстий, кратным 5, т. е. с 30 отверстиями $n = \frac{6}{30}$, это значит, что рукоятку надо повернуть на 6 делений по окружности с 30 отверстиями.

Из приведенных примеров видно, что способ простого деления обладает большими возможностями, чем непосредственное деление. Однако и этим способом нельзя пользоваться при делении окружности на 63, 69, 71, 77 частей и т. д. В таких случаях можно применять усовершенствованный способ, называемый дифференциальным делением.

Дифференциальное деление (табл. 25.3). Универсальная делительная головка осуществляет принцип суммирования движений следующим образом: вращение рукоятки 9 с фиксатором 8 через колеса 4, 12, червяк 3 и червячное колесо 2 передается на шпиндель 1, как при простом делении. Но шпиндель 1 приводит во вращение сменные колеса $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$, конические колеса 7, 6, цилиндрические 5, 11 и делительный диск 10. Таким образом, суммарный угол поворота рукоятки 9 складывается из угла ее поворота

относительно диска 10 и угла поворота диска 10 относительно корпуса головки. При вращении рукоятки 9 диск вращается в том же направлении. Если включить паразитное колесо в гитару сменных колес, то вращение рукоятки и диска будет противоположным. Передаточное отношение в гитаре сменных колес определяется по формуле

$$i = \frac{N(z_1 - z)}{z_1}, \quad (34)$$

где i — требуемое передаточное отношение сменных колес;
 N — характеристика делительной головки;
 z_1 — число делений, близкое к заданному (получается простым делением);
 z — заданное число делений на обрабатываемой детали.

При $z_1 < z$ передаточное отношение i является отрицательным и вращение диска обратно вращению рукоятки, т. е. в гитару надо поставить паразитное колесо.

К делительным головкам прилагаются наборы сменных колес: так, головка УДГ-100 имеет сменные зубчатые колеса с числом зубьев: 25 (2 шт.); 30; 35; 40; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100.

Пример 1. Нарезать шестерню $z = 93$, используя делительную головку УДГ-100.

Подбираем ближайшее число z_1 к заданному и кратное числу отверстий на делительном диске; принимаем $z_1 = 90$.

Определяем передаточное отношение

$$i = \frac{N(z_1 - z)}{z_1} = \frac{40(90 - 93)}{90} = \frac{40(-3)}{90} = -\frac{4}{3} = -\frac{40}{30}.$$

В наборе имеются сменные колеса с числом зубьев 30 и 40, а знак минус указывает на необходимость постановки паразитной шестерни.

Число оборотов рукоятки и необходимое число отверстий в диске определяются по вспомогательному числу $z = 90$.

$$n = \frac{N}{z_1} = \frac{40}{90} = \frac{4}{9} = \frac{24}{54}.$$

Знаменатель 54 показывает, что фиксатор надо установить в круг с числом отверстий 54, а числитель 24 означает число промежутков, на которое нужно повернуть рукоятку при делении.

Пример 2. Определить сменные шестерни и число оборотов рукоятки при нарезании шестерни $z = 109$.

Подбираем вспомогательное число $z_1 = 110$.

Определяем передаточное отношение

$$i = \frac{N(z_1 - z)}{z_1} = \frac{40(110 - 109)}{110} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{40 \cdot 30}{60 \cdot 55};$$

$$a = 40; b = 60; c = 30; d = 55.$$

Определяем число оборотов рукоятки и количество отверстий в диске:

$$n = \frac{N}{z_1} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{12}{33}.$$

Поворачиваем рукоятку на 12 делений по окружности с числом отверстий 33.

Обычно к головкам прилагаются таблицы, в которых для каждого числа делений указаны число отверстий выбранного круга, сменные шестерни, число паразитных шестерен.

20. НАРЕЗАНИЕ ПРЯМОЗУБЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Установка и закрепление заготовки обычно производится на оправках, которые располагают между центрами делительной головки. Гладкая часть оправки выполняется по скользящей посадке. Для увеличения производительности на оправку устанавливают 2—3 детали и больше. Если заготовка имеет большие размеры, ее закрепляют на вертикально установленном шпинделе делительной головки. Если же конструкция детали не позволяет устанавливать ее на оправке, применяют трехкулачковый патрон.

Наладка делительной головки производится следующим образом. Центры делительной головки и задней бабки должны быть на одной прямой линии, а поворотный стол станка — в нулевом положении, делительная головка должна быть настроена на заданное число зубьев.

Для подбора и установки модульной фрезы на глубину фрезерования выбирают из набора в 8 или 15 фрез соответствующую по

Таблица 26

Режимы резания при нарезании прямозубых колес
дисковыми модульными фрезами на горизонтальных
и универсально-фрезерных станках

Модуль в мм	Обрабатываемый материал			
	сталь			серый чугун
	45	40X	20X; 12XН3А	
Подача s в мм/мин				
2	190	130	76	284
3	155	106	62	230
4	134	92	54	200
5	120	82	48	180
6	100	75	44	165
8	90	65	38	140
Характер обработки	Скорость резания в м/мин			
Черновая	32	32	29	25
Чистовая	40	40	36	32

Примечание. Зубчатые колеса из стали обрабатываются с охлаждением, а из чугуна — без охлаждения.

Примечание. Зубчатые колеса из стали обрабатываются с охлаждением, а из чугуна — без охлаждения.

модулю и номеру фрезы. Фрезу устанавливают на оправку и зажимают между кольцами.

Следующим этапом работы является установка фрезы по центру. Для этого поднимают стол станка и одновременно перемещают поперечные салазки до совпадения заднего центра с плоскостью вращения фрезы. Закрепляют поперечные салазки и опускают стол так, чтобы фреза не мешала установке заготовки в центрах. После этого включают вращение фрезы и поднимают стол станка до тех пор, пока фреза не сделает едва заметных царапин в заготовке. Лимб вертикальной подачи устанавливают на нуль. Затем включают продольную подачу стола (табл. 26), выводят заготовку из-под фрезы, поднимая стол вверх на величину глубины резания, и начинают нарезание зубьев. По окончании фрезерования первой впадины стол возвращают в исходное положение, проверяют глубину резания (впадины), затем заготовку поворачивают с помощью делительной головки на один угловой шаг и таким же образом фрезеруют последующие впадины. Для сокращения холостых ходов стола устанавливаются упоры, выключающие подачу стола.

21. НАРЕЗАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С КОСЫМИ ЗУБЬЯМИ

Выбор и установка фрезы для заданного колеса по модулю, числу зубьев и углу наклона производится не по действительному числу зубьев z , а по приведенному $z_1 = \frac{z}{\cos^3 \beta}$.

Выбранную по модулю и номеру фрезу устанавливают на оправку и настраивают на глубину фрезерования так же, как при нарезании зубчатых колес с прямым зубом.

Установка заготовки и стола по отношению фрезы при фрезеровании косых зубьев может производиться только на универсально-фрезерных станках. Для образования косого зуба шестерне сообщается одновременно два движения — поступательное и вращательное. Поступательное движение осуществляется столом фрезерного станка, а вращательное — делительной головкой. Последняя получает вращение через сменные зубчатые колеса a , b , c и d от винта продольной подачи станка. При этом стол станка должен быть установлен под углом β_d наклона зуба. Если стол будет установлен неправильно, то получится искажение профиля.

Передаточное отношение сменных колес от ходового винта подачи стола к делительной головке (рис. 47) определяется из уравнения

$$i_{cm} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = N \frac{t_x}{t_{ушд}}, \quad (35)$$

где $t_{изд}$ — шаг винтовой линии изделия, при этом

$$t_{изд} = \frac{\pi d_0}{\operatorname{tg} \beta}; \quad (36)$$

t_x — шаг ходового винта подачи стола.

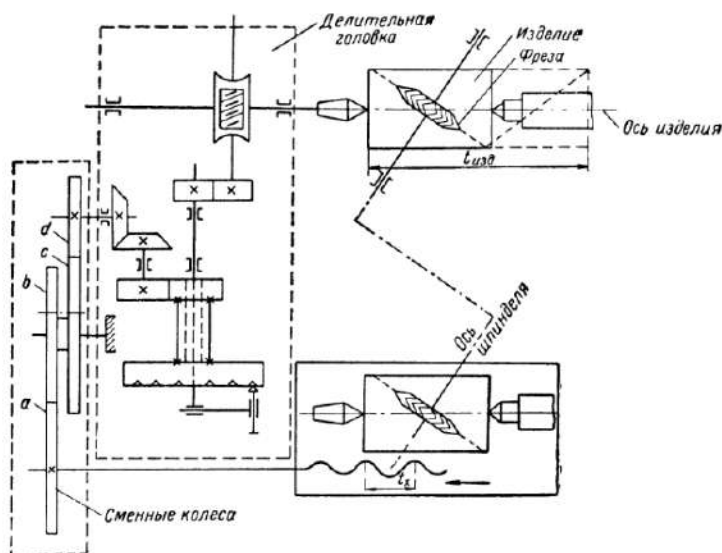


Рис. 47. Схема нарезания винтовой линии

Пример 1. Определить угол поворота стола β , если $d = 160$, а $t_{изд} = 1200$ мм.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi \cdot d}{t_{изд}} = \frac{3,14 \cdot 160}{1200} = \frac{6,28}{15} = 0,4187$$

или $\beta = 22^\circ 43'$.

Пример 2. Определить передаточное отношение $i_{см}$ сменных колес, если $t_x = 6$ мм, а $t_{изд} = 600$ мм.

$$i_{см} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = N \frac{t_x}{t_{изд}} = 40 \frac{6}{600} = \frac{2}{5} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{2,5} = \frac{25}{50} \cdot \frac{60}{75};$$

$$a = 25; \quad b = 50; \quad c = 60; \quad d = 75.$$

Установка фрезы и ведение процесса фрезерования выполняются так же, как и при нарезании прямых зубьев.

ЗУБОРЕЗНЫЕ СТАНКИ И РАБОТА НА НИХ**22. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
О ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ****Классификация станков**

Выпускаемые промышленностью СССР металлорежущие станки классифицируются на следующие группы.

По степени специализации:

1) универсальные — для обработки разнообразных деталей широкой номенклатуры;

2) широкого назначения — для выполнения ограниченного круга операций на деталях широкой номенклатуры;

3) специализированные — для обработки однотипных деталей различного размера;

4) специальные — для обработки деталей одного типоразмера.

По весу: легкие (до 10 т), средние (до 100 т) и тяжелые (свыше 100 т).

По точности:

1) класс Н — нормальной точности;

2) класс П — повышенной точности;

3) класс В — высокой точности;

4) класс А — особо высокой точности;

5) класс С — особо точные или мастер-станки, предназначенные для изготовления деталей, определяющих точность станков классов А и В.

Станки классов А, В и С устанавливаются в помещениях с регулируемой постоянной температурой и влажностью.

Зубообрабатывающие станки можно классифицировать по следующим признакам:

По виду обрабатываемого инструмента: зубофрезерные, зубодолбежные, зубострогальные, зубошевинговальные, зубопротяжные, зубопритирочные, зубохонинговальные и зубозакругляющие.

По назначению — для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями, червячных и шевронных колес, зубчатых реек, конических колес прямозубых и косозубых.

По технологической применяемости — на черновые для предварительного нарезания зубьев и чистовые

для окончательной обработки зубьев, доводки рабочих поверхностей зубьев.

Наиболее распространенными зубообрабатывающими станками являются:

1) *зубофрезерные* — для нарезания пальцевой, дисковой или червячной фрезой цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями в основном внешнего зацепления, червячных колес, шлицевых валиков и др.;

2) *зубодолбежные* — для нарезания зубчатых колес инструментом, имеющим форму, сходную с зубчатым колесом — долбяком. На станках, работающих долбяком, нарезаются цилиндрические зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями, блоки зубчатых колес, колеса с буртами, зубчатые муфты, рейки, храповые колеса и т. д.;

3) *зубострогальные* — для нарезания зубчатых конических колес по методу обкатки одним или двумя резами или для нарезания цилиндрических колес гребенкой;

4) *зуборезные* — для нарезания конических колес с криволинейными зубьями.

Изучив подробно одну из моделей какого-либо типа станков можно разобраться в кинематике и настройке других однотипных моделей.

Основные движения в металлорежущих станках

Для получения из заготовки детали требуемой формы и размеров необходимо, чтобы рабочие органы станка имели определенные взаимосвязанные движения. Все движения в станках можно разделить на основные, вспомогательные и движения обкатки.

Основное движение, в свою очередь, подразделяется на главное движение и движение подачи.

Главное движение обеспечивает снятие припуска. В большинстве случаев оно сообщается инструменту (фрезерные, сверлильные, зубофрезерные, зубодолбежные станки и др.) или обрабатываемому предмету (токарные, строгальные и т. д.), а иногда инструменту и изделию одновременно (станки глубокого сверления).

Движение подачи обеспечивает непрерывность процесса резания; оно также может сообщаться инструменту, заготовке или тому и другому одновременно. Чаще всего станки имеют только одно движение подачи, но существуют конструкции с двумя и тремя подачами (шлифовальные станки), а протяжные станки совсем не имеют подачи, так как в них непрерывность процесса обеспечивается конструкцией протяжки.

Движение обкатки дает возможность получить заданную форму обрабатываемой поверхности путем определенной кинематической зависимости движений детали и инструмента. Движение обкатки имеют станки для нарезания зубчатых колес и резьб.

Вспомогательные движения служат для подвода инструмента к заготовке или для установки требуемых скоростей главного движения и подачи, для холостых перемещений и т. п. Все эти движения большей частью совершаются вручную, в то время как основные движения и движения обкатки в современных станках механизированы.

Понятие о кинематических схемах

В современных станках исполнительные органы для обработки деталей осуществляют часто весьма сложные движения, например электродвигатель и режущий инструмент связаны сложными передаточными механизмами. Совокупность таких механизмов условно изображается в виде кинематической схемы станка. Такая схема позволяет наглядно проследить передачу движений от электродвигателя к отдельным деталям и узлам.

Имея кинематическую схему станка и зная число оборотов электродвигателя, можно определить обороты любого вала станка.

Для облегчения изучения движений станка кинематическая схема составляется с помощью условных обозначений и в упрощенном виде показывает расположение и взаимосвязь между отдельными узлами и деталями от источника движения до рабочего органа. Условные обозначения в соответствии с ГОСТом 3462—61 приведены в табл. 27.

Кинематическая схема — это условный и упрощенный чертеж передач в станке с указанием числа зубьев шестерен, шагов ходовых винтов и других характеристик элементов цепи, с помощью которых можно определить, какие движения и с какими скоростями они совершаются в станке и какова их взаимосвязь.

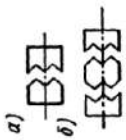
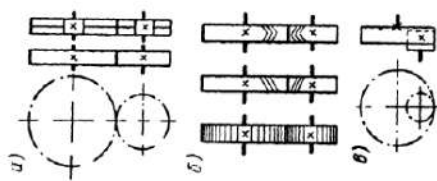
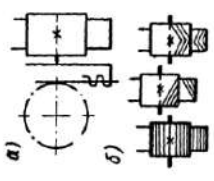
Механизмы зуборезных станков

Приводы — это устройства для передачи движения от двигателя к рабочим органам. Приводы состоят из зубчатых, ременных, цепных, гидравлических передач и др. На схеме табл. 28.1 показан привод от электродвигателя 1 к рабочему органу с фрезой 8, через зубчатую передачу 2, гитару скоростей 3, конические передачи 4, 5 и 6, цилиндрическую передачу 7 к фрезерному шпинделю, несущему фрезу 8. При помощи сменных зубчатых колес (табл. 28.2) в станках производят изменение вращения шпинделей, столов, подачи и т. д. Сменные колеса удобны в эксплуатации и не требуют много времени на их смену. Передаточные отношения определяются отношением числа зубьев одной пары колес $\left(\frac{A}{B}\right)$ или двух пар по формуле $i = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$. Ось, на которую устанавливаются колеса b и c , является подвижной, что обеспечивает зацепление их при любых числах зубьев.

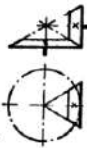
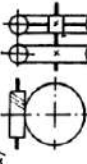
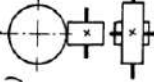
Условные обозначения на кинематических схемах по ГОСТу 3462—61

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Геометрическая ось элемента	— · — · — · —	Неподвижная опора для стержня, движущегося возвратно-поступательно	
Вал, валик, ось, стержень, шатун и т. п.	—	Опора: а — неподвижная; б — подвижная	 а)  б)
Вращение вала		Соединение стержня с неподвижной опорой: а — шарнирное; б — с шаровым шарниром	 а)  б)
Неподвижное закрепление оси, стержня, пальца и т. п.			

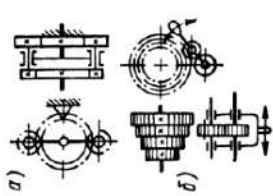
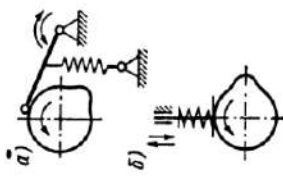
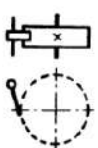
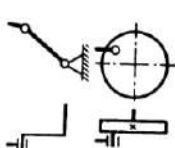
Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Подшипники скольжения и качения: а — общее обозначение; б — подшипник скольжения; в — подшипник скольжения с кольцевой смазкой; г — подшипник скольжения упорный; д — подшипник качения радиальный; е — подшипник качения радиально-упорный; ж — подшипник качения упорный односторонний; з — подшипник качения упорный двусторонний; и — подшипник качения радиальный роликовый; к — подшипник качения радиальный упорный роликовый	а) б) в) г) д) е) ж) з) и) к)	Соединение деталей с валом: а — свободное; б — при помощи скользящей шпонки; в — при помощи подвижной шпонки; г — при помощи глухой шпонки; д — многошпоночное (шлицевое)	а) б) в) г) д)
		Соединение двух деталей: а — свободное; б — при помощи скользящей шпонки; в — неподвижное (общее обозначение); г — при помощи глухой шпонки	а) б) в) г)

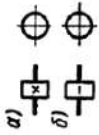
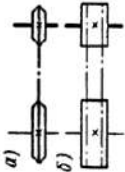
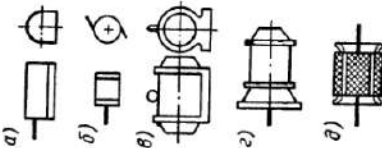
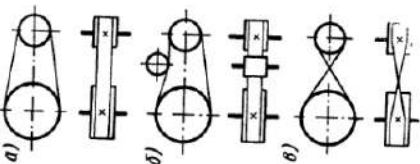
Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Муфты сцепления кулачковые а — односторонняя; б — двусторонняя		Зубчатые зацепления между валами, оси которых параллельны (передачи цилиндрические): а — внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа); б — то же, но с прямыми, косыми и шевронными зубьями; в — внутреннее зацепление	
Пружины: а — сжатия; б — растяжения			
Блок из двух шестерен		Реечное зацепление: а — общее обозначение без уточнения типа зубьев; б — с прямыми, косыми и шевронными зубьями	

Продолжение табл. 27

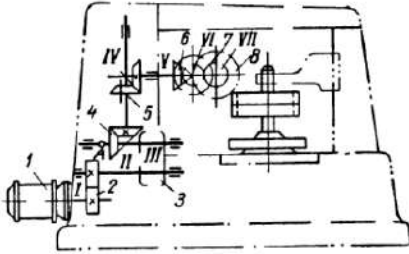
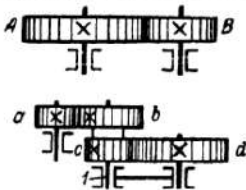
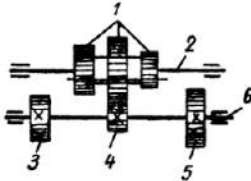
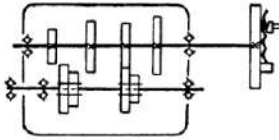
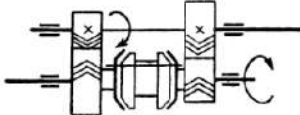
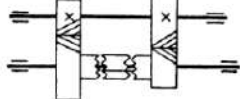
Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Зубчатые зацепления между валами, оси которых пересекаются: передачи конические: а — общее обозначение без уточнения типа зубьев; б — с прямыми, косыми, криволинейными и шевронными зубьями	а)  б) 	Зубчатые зацепления между валами, оси которых скрещиваются: а — передача червячная; б — передача винтовая	а)  б) 
		Винт, передающий движение	
		Гайки на винте, передающем движение: а — неразъемная; б — разъемная	а)  б) 

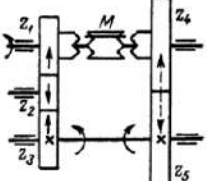
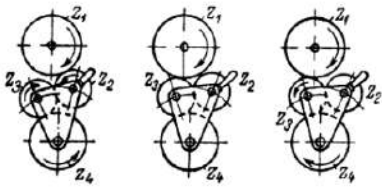
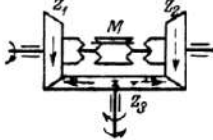
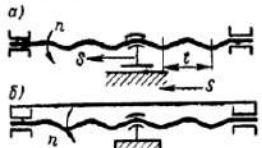
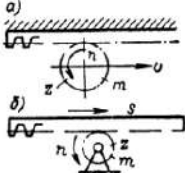
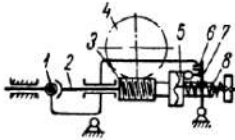
Примечание. Допускается частичная штриховка колес с прямыми зубьями.

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Зубчатые механизмы: <i>a</i> — планетарная передача; <i>б</i> — коробка передач с наклонной шестерней		Кулачковые механизмы: <i>a</i> — с роликом на ведомом звене; <i>б</i> — с плоскостью на ведомом звене	
		Храповой механизм	
Соединение кривошипа с шатуном		Маховик на валу	

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Шкивы на валу: а — рабочий; б — холостой			
Передача цепью: а — роликовой; б — бесшумной		Двигатели: а — общее обозначение без уточнения типа (за исключением электродвигателя); б — общее обозначение электродвигателя; в — электродвигатель на лапках; г — электродвигатель фланцевый; д — электродвигатель встроенный	
Передачи плоским ремнем: а — прямая; б — прямая с натяжным роликом; в — перекрестная			

Схемы типовых механизмов зубофрезерных станков

№ п/п	Схемы	Наименование механизма
1		Привод движения резания
2		Сменные колеса: а — без гитары; б — с гитарой
3		Подвижной блок зубчатых колес
4		Коробка скоростей с по- движными блоками
5		Фрикционная муфта
6		Кулачковая муфта

№ п/п	Схемы	Наименование механизма
7		Реверс с паразитным зубчатым колесом
8		Реверс с двумя паразитными колесами
9		Реверс с коническими колесами
10		Винтовой механизм: а — с подвижной гайкой; б — с подвижным винтом
11		Реечный механизм: а — с неподвижной рейкой; б — с подвижной рейкой
12		Падающий червяк

Подвижной блок зубчатых колес (табл. 28.3) предназначен для изменения скоростей движения рабочих органов станка путем перемещения трехблочной шестерни 1, сидящей на скользящей шпонке 2. Помимо изображенного в таблице соединения трехблочной шестерни с шестерней 4, возможны еще два положения. Перемещаясь вправо, трехблочная шестерня соединяется с шестерней 5, а влево — с шестерней 3, сидящими на валу 6. Таким образом, вращение вала 2 сообщает три различные скорости валу 6.

Коробка скоростей с подвижными блоками (табл. 28.4) применяется для изменения скоростей вращения или возвратно-поступательного движения в зуборезных станках, что осуществляется с помощью нескольких подвижных блоков зубчатых колес.

Фрикционная муфта (табл. 28.5) применяется для временного периодического или постоянного соединения двух валов. В случае перегрузок фрикционная муфта обеспечивает проскальзывание полумуфт относительно друг друга, что предотвращает аварии.

Кулачковая муфта (рис. 28.6) применяется для тех же целей, что и фрикционная муфта. При сравнительной простоте конструкции кулачковой муфты недостатком является невозможность включения ее на больших скоростях.

Реверсы с зубчатыми колесами (табл. 28.7, 8, 9). Механизмы реверсирования предназначены для изменения направления вращения рабочих органов. В зависимости от назначения они изготавливаются в различных исполнениях: с одним паразитным колесом (табл. 27.7), с двумя паразитными (табл. 28.8) и с коническими колесами (табл. 28.9).

Виктовая передача (табл. 28.10) предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное в различных приводах подач и вспомогательных движений. Преобразование осуществляется различным образом:

а) вращается винт, а гайка с рабочим органом движется поступательно (табл. 28.10, а),

б) гайка неподвижна, винт, вращаясь, движется поступательно (табл. 28.10, б).

Винтовая передача при малых углах подъема резьбы является самотормозящей.

Реечная передача (табл. 28.11) осуществляется в двух вариантах:

а) рейка неподвижна, а реечная шестерня с соответствующим устройством перемещается по рейке (табл. 28.11, а);

б) реечная шестерня только вращается, а рейка получает поступательное движение (табл. 28.11, б).

В реечной передаче скорость движения рейки равна окружной скорости шестерни.

Падающий червяк (табл. 28.12) предназначен для автоматического выключения подачи. Например, когда суппорт или стол зубофрезерного станка доходят до упора, установленного на станине,

и не могут дальше двигаться, тогда приводной валик 2, продолжая вращаться, благодаря скошенным зубьям отодвигает вправо половину муфты 5, преодолевая сопротивление пружины 8. Одновременно половина муфты 5 нажимает на кронштейн 7, поддерживающий своим уступом 6 червяк 3 в зацеплении с червячным колесом 4. Червяк под действием собственного веса упадет, повернувшись вокруг оси 1, и выйдет из зацепления. На рис. 55 представлена схема падающего червяка зубофрезерного станка модели 5Е32.

23. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Зубофрезерные станки имеют наибольшее распространение в промышленности ввиду их сравнительно высокой производительности, точности, а также универсальности.

В зависимости от положения оси обрабатываемого изделия они разделяются на вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные станки в основном предназначены для обработки деталей типа «вал—шестерня», т. е. зубчатых колес, составляющих одно целое с валом, а также шлицевых валиков и т. п. Вертикальные станки изготовляются в двух исполнениях: с подвижным столом и неподвижной стойкой, с подвижной стойкой и неподвижным столом.

Принципиальная схема зубофрезерного станка показана на рис. 48. Станок работает по методу обкатки, при котором вращательным движением инструмента (червячной фрезы) и заготовки воспроизводится реечное зацепление.

Соотношение скоростей вращений червячной фрезы и заготовки дано ниже.

В случае однозаходной фрезы при одном ее обороте заготовка поворачивается на один угловой шаг ($\frac{1}{z}$ оборота) или за один оборот заготовки фреза делает z оборотов.

В случае многозаходной фрезы при одном ее обороте заготовка поворачивается на k угловых шагов ($\frac{k}{z}$ оборота) или за один оборот заготовки фреза поворачивается на $\frac{z}{k}$ оборотов, где z — число зубьев нарезаемого колеса, k — число заходов червячной фрезы.

Кроме рассмотренного непрерывного движения обкатки (деления) на станке должно осуществляться главное движение резания,

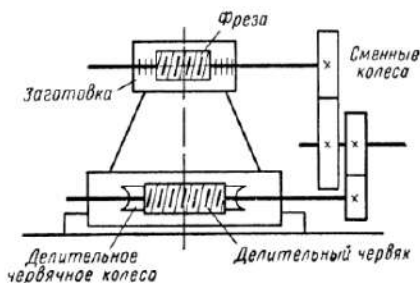


Рис. 48. Принципиальная схема зубофрезерного станка

движение подачи, движение для предварительной установки инструмента и заготовки в исходное положение. Поэтому в состав реальной схемы входят механизмы, которые определяют особенности кинематической схемы различных зубофрезерных станков.

На зубофрезерном станке червячную фрезу устанавливают так, чтобы витки фрезы со стороны заготовки при обработке прямозуб-

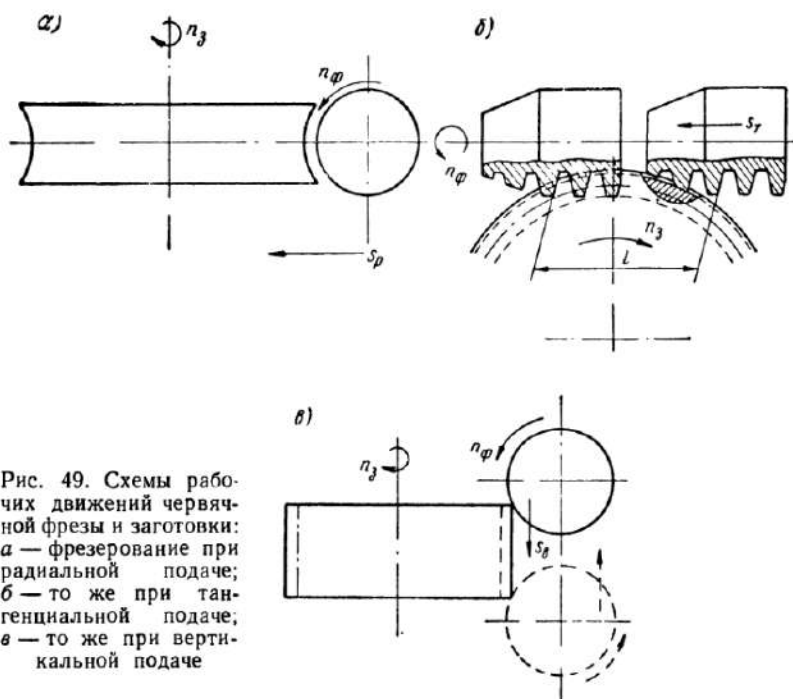


Рис. 49. Схемы рабочих движений червячной фрезы и заготовки: а — фрезерование при радиальной подаче; б — то же при тангенциальной подаче; в — то же при вертикальной подаче

рых колес были расположены вдоль оси колеса, а при обработке косозубых колес — под углом наклона β_d винтовой линии зуба.

Движение подачи при нарезании цилиндрических прямозубых колес осуществляется перемещением (s_p) фрезы вдоль оси заготовки (рис. 49, а). В случае нарезания косых зубьев столу с заготовкой сообщается дополнительное вращение.

При нарезании червячных колес ось фрезы устанавливается перпендикулярно оси вращения заготовки, при этом обеспечивается вращательное движение фрезы n_ϕ , вращательное движение заготовки n_z и движение подачи радиальное s_p или тангенциальное (осевое) s_τ .

Радиальная подача (рис. 49, а) при достижении полной глубины фрезерования автоматически выключается. Тангенциальная подача (рис. 49, б) происходит путем перемещения фрезы

вдоль собственной оси при первоначальной установке ее на полную глубину фрезерования.

Тангенциальная подача применяется при нарезании многозаходных червячных колес с повышенными требованиями к их точности. Для нарезания зубчатых колес по методу тангенциальной подачи станок снабжается (по требованию) протяжным суппортом,

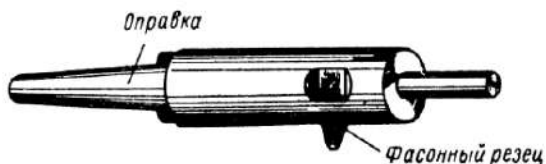


Рис. 50. Оправка с летучим резцом

при этом пользуются червячными фрезами с заходным конусом. В индивидуальном производстве применяют летучие резцы (рис. 50); они значительно проще и дешевле червячных фрез, но производительность при работе с ними снижается.

Согласованность движений механизмов зубофрезерного станка осуществляется настройкой следующих цепей: скоростной, устанавливающей число оборотов фрезы (скорость резания); цепи деления, согласовывающей вращение фрезы и заготовки; цепи подачи, определяющей величину подачи фрезы; цепи дифференциала, обеспечивающей дополнительное вращение заготовки относительно вращения фрезы при нарезании косозубых колес или червячных колес с тангенциальной подачей.

Зубофрезерный станок модели 5Е32

Станок модели 5Е32 является универсальным и предназначен для нарезания червячными фрезами прямозубых, косозубых и червячных колес среднего размера, шлицевых валиков и др. На этом станке можно производить зубонарезание методами встречного и попутного фрезерования (см. рис. 58). Станок работает по замкнутому полуавтоматическому циклу, имеет механизм для передвижения фрезы, что увеличивает стойкость и срок службы фрез; позволяет производить работу при повышенных скоростях резания и подаче. Повышенная жесткость и мощность станка обеспечивают высокое качество нарезаемых колес и увеличивают производительность.

Станок 5Е32 (рис. 51) состоит из следующих основных узлов: станины 4, суппортной стойки 19, салазок 10, суппорта 11, стола 7, задней стойки 9 и поперечины 14.

Станина 4 является основанием станка; на ней имеются направляющие для движения стойки 19 и кольцевые направляющие для вращения стола 7. Внутри станины расположены электродвига-

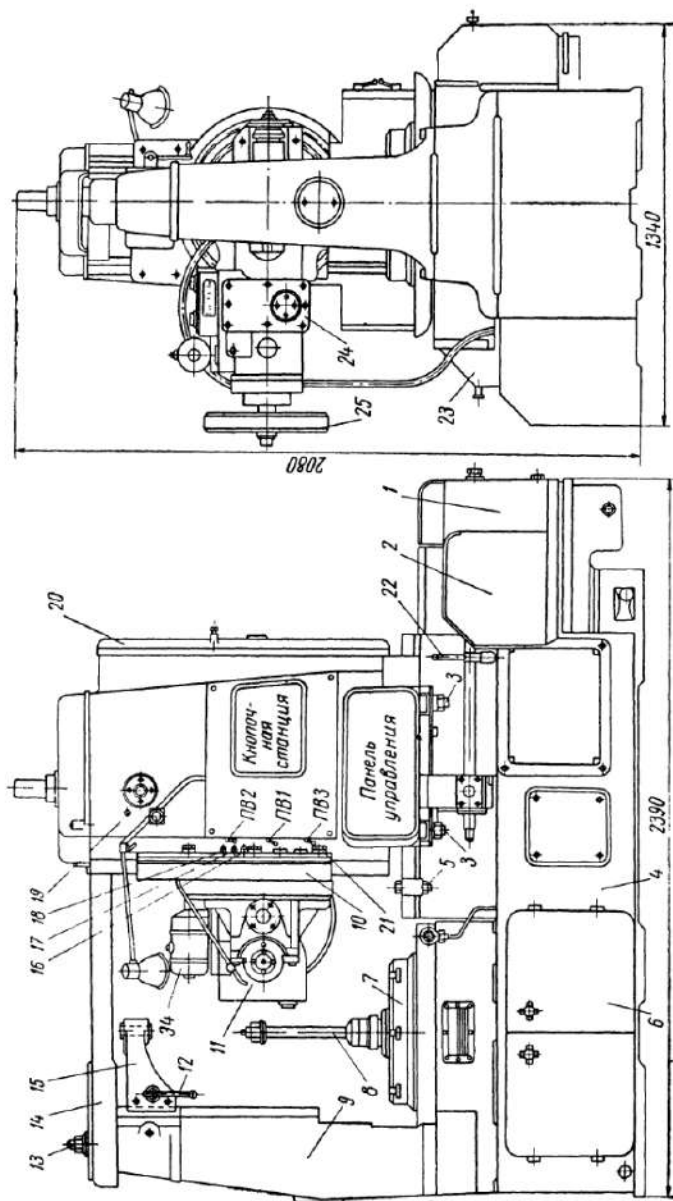


Рис. 51. Общий вид зубофрезерного станка модели 5E32

тели 31 для главного движения (см. рис. 53), 32 — для быстрых перемещений суппорта, суппортной стойки и шпинделя с фрезой, 33 — для насоса (на схеме не показан), подающего охлаждающую жидкость. Электродвигатель 33 включается только при включении 31, т. е. охлаждающая жидкость подается при вращении фрезы.

Салазки 10 предназначены для передвижения суппорта 11 вверх и вниз быстро или медленно в зависимости от холостого или рабочего хода.

При обработке червячных колес салазки после надлежащей установки закрепляются болтами 21 на направляющих стойки 19. Суппорт 11 может быть повернут и закреплен на салазках под требуемым углом положения фрезы к заготовке. Для отсчета угла поворота суппорта на нем имеется круговая шкала в градусах, а на салазках — нониус с ценой деления 6 мин.

На шпинделе фрезы укреплен маховик 25, который служит для увеличения плавности вращения фрезы в процессе резания. Тут же расположен электродвигатель 34 с механизмом передвижения фрезы и указатель уровня масла 24.

Под крышками размещены гитара дифференциала 2, гитара скоростей 1, гитара делений и гидроуправление, гитара подач 23. Под крышками 6 находятся стеллажи для хранения сменных зубчатых колес, под крышкой 20 — шкаф с электрооборудованием.

Суппортная стойка 19 может перемещаться по направляющим станины и закрепляться гайками 3 и 13 в любом положении. Перемещение стойки ограничивается подвижным упором 5.

Внутри стойки помещены механизмы главного движения и подачи и цилиндр гидравлического противовеса суппорта. На задней стенке стойки расположен пульт электрооборудования, на крышке 20 которого имеются выключатели электрического питания и двигателя насоса охлаждающей жидкости. На салазках в пазах расположены переставные кулачки 16, 17, 18, которые, действуя на путевые переключатели ПВ1, ПВ2 и ПВ3, управляют движением в стойке.

Поверхности соприкосновения кулачков и переключателей расположены так, чтобы кулачок 16 действовал только на переключатель ПВ3, а кулачок 18 — на переключатель ПВ2 и кулачок 17 — на переключатель ПВ1, свободно проходя мимо остальных переключателей. Кулачки 16, 17, 18 устанавливаются в зависимости от величины холостого и рабочего ходов суппорта.

Позади салазок расположены кулачки, действующие на переключатель, выключающий перемещение суппорта в крайних положениях. Рукоятка 22 служит для включения и выключения рабочей подачи суппорта.

Стол 7 сообщает вращение заготовке, обычно закрепляемой на оправке 8.

Задняя стойка 9 неподвижна относительно стола. По ее внутренним направляющим может перемещаться кронштейн 15. В крон-

штейне закреплена втулка с внутренним конусом, точно центрирующую оправку 8. Вместо втулки можно установить центр, поддерживающий верхний конец установленной заготовки. При дви-

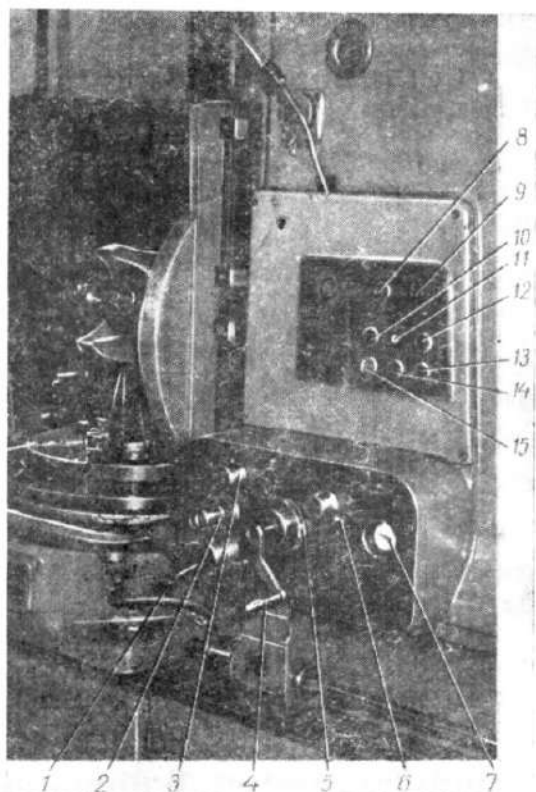


Рис. 52. Назначение и расположение кнопок, рычагов и переключателей на панели управления и кнопочной станции станка модели 5E32:

1 — рукоятка для включения и выключения вертикальной подачи суппорта (включение и выключение муфты M_1); 2 — квадрат для съемной рукоятки ручного вертикального перемещения салазок суппорта (вверх, вниз). Муфта M_2 выключена, муфта M_3 включена; 3 — рукоятка для включения и выключения вертикальной подачи суппорта (включает и выключает муфту M_3); 4 — квадрат для перемещения вручную суппорной стойки в радиальном направлении (за один оборот квадрата стойка перемещается на 4 мм; 5 — лимб квадрата 4 с 200-миллиметровыми делениями. Поворот квадрата на одно деление перемещает стойку на 0,02 мм; 6 — рукоятка включения радиальной подачи суппорной стойки путем включения падающего червяка; 7 — манометр, показывающий давление масла в гидроцилиндре; 8 — сигнальная лампа, показывающая включение автоматического цикла работы; 9 — переключатель для установления вида подачи (встречного или попутного фрезерования); 10, 15 — кнопки для включения и выключения рабочего хода; 11, 14 — кнопки для включения и выключения механизма передвижения фрезы; 12, 13 — кнопки для включения быстрого перемещения суппорта

жении рукоятки 12 «на себя» кронштейн 15 закрепляется в любом положении, а движение рукоятки «от себя» служит для вращения реечной шестерни, катящейся по рейке, прикрепленной к стойке 9 и перемещающей кронштейн 15.

Поперечина 14 служит для увеличения жесткости станка, сводя до минимума деформации стоек и вибрации.

Назначение рукояток и кнопок, расположенных на кнопочной станции и на панели управления, ясно из надписей на рис. 52.

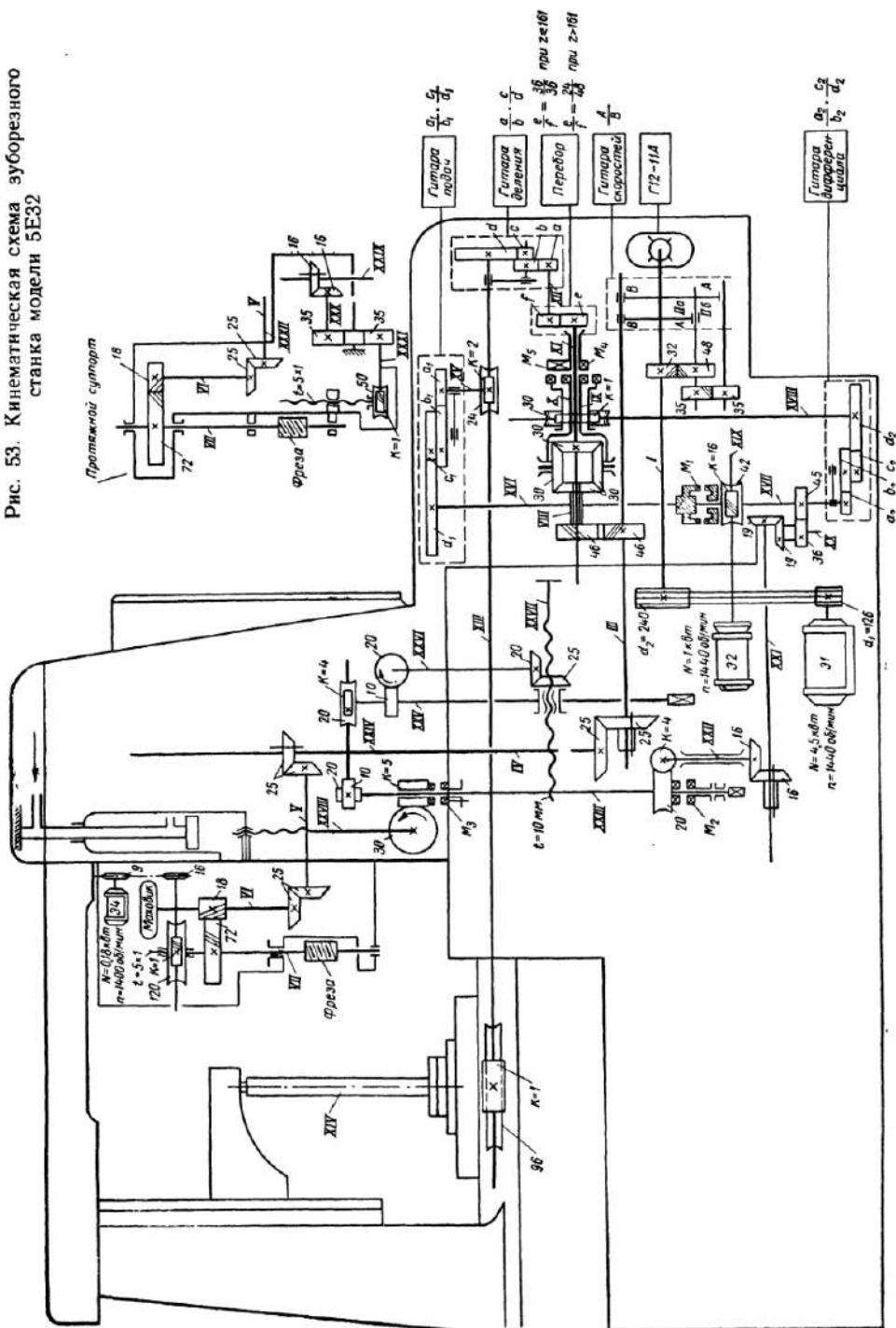
Техническая характеристика станка модели 5Е32

Наибольший нарезаемый модуль в мм	
по стали	6
» чугуна	8
Наибольший диаметр обрабатываемых цилиндрических прямоугольных и червячных колес в мм	800
Наибольшая ширина обрабатываемого венца колеса в мм	280
Наибольшие размеры зуборезного инструмента в мм:	
диаметр	150
длина	130
Наибольшее вертикальное перемещение суппорта (ме- ханическое и ручное) в мм	335
Наибольший угол поворота суппорта в град	±60
Цена деления шкалы поворота суппорта:	
по линейке	1°
» нониусу	6'
Расстояние между осями фрезы и заготовки в мм:	
наименьшее	30
наибольшее	480
Наибольшее осевое перемещение фрезы у протяжного суппорта в мм	195
Наибольшие размеры червячной фрезы в мм:	
диаметр	125
длина	130
Наибольшее перемещение суппортной стойки в мм	450
Перемещения суппортной стойки в мм:	
за один оборот лимба	4
на одно деление лимба	0,02
Быстрое перемещение в мм/мин	230
Диаметр стола в мм	475
Расстояние от рабочей поверхности стола до оси фрезы в мм:	
наименьшее	190
наибольшее	525
Мощность в квт:	
электродвигателя главных движений Э1	4,5
» быстрого хода Э2	1
» насоса охлаждения Э3	0,15
» осевого передвижения фрезы Э4	0,18
Габариты станка (в плане) в мм	2390×2080
Вес станка в т	4,0

Кинематическая схема станка модели 5Е32. На рис. 53 изображена кинематическая схема зубофрезерного станка модели 5Е32, устройство которого позволяет осуществлять следующие движения.

Главное движение. Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя Э1 (4,5 квт при 1440 об/мин) по следующей

Рис. 53. Кинематическая схема зуборезного станка модели 5Е32



кинематической цепи:

$$n = 1440 \cdot \frac{126}{240} \cdot 0,99 \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{18}{72} = 125 \frac{A}{B},$$

где n — число оборотов фрезы в минуту, выбираемое по принятой скорости резания v_{ϕ} м/мин:

$$n = \frac{1000 \cdot v_{\phi}}{\pi \cdot d_{\phi}} \text{ об/мин}; \quad (37)$$

здесь d_{ϕ} — диаметр червячной фрезы в мм; $\pi = 3,14$.

Необходимый для данной скорости резания набор сменных колес определяется по формуле

$$\frac{A}{B} = \frac{n}{125} = \frac{1000 \cdot v_{\phi}}{125 \cdot \pi \cdot d_{\phi}} = 2,54 \frac{v_{\phi}}{d_{\phi}}. \quad (38)$$

Станок снабжен пятью парами сменных колес, при установке которых можно получить числа оборотов фрезы, приведенные в табл. 29.

Т а б л и ц а 29

Выбор сменных колес для гитары скоростей

n в об/мин	53,5	62,5	78	102	125	153	202	250
$\frac{A}{B}$	$\frac{18}{42}$	$\frac{20}{40}$	$\frac{23}{37}$	$\frac{27}{33}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{33}{27}$	$\frac{37}{23}$	$\frac{40}{20}$

Для изменения вращения фрезы надо ведущее сменное колесо устанавливать на промежуточный вал *IIa*, а обычно оно устанавливается на валу *IIб*. Вал *IIб* получает вращение от вала *IIa* через передачу $\frac{35}{35}$ и поэтому вращается в обратную сторону.

Д е л и т е л ь н о е д в и ж е н и е. Ведущим звеном в кинематической цепи делительного движения является фреза, а ведомым — стол, который за каждый оборот фрезы должен поворачиваться вместе с заготовкой на $\frac{k}{z}$ оборотов по следующей цепи:

$$1 \cdot \frac{72}{18} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{46}{46} \cdot i_{\partial} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{1}{96} = \frac{k}{z};$$

$i_{\partial} = 1$, т. е. дифференциал выключен, следовательно, при одном обороте вала *VIII* также делают по одному обороту валы *IX* и *XI* (см. стр. 143).

Из уравнения этой цепи получается формула для настройки гитары деления:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24 \cdot k}{z \cdot \frac{e}{f}}.$$

Сменные колеса $\frac{e}{f}$ устанавливаются в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса:

при $z \leq 161$ зуб $\frac{e}{f} = \frac{36}{36} = 1$ и

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24k}{z}; \quad (39)$$

при $z > 161$ зуб $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$ и

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{48k}{z}. \quad (40)$$

Станок модели 5Е32 снабжается следующим комплектом сменных колес (41 шт.), предназначенных для гитар деления, подачи и дифференциала: 23; 24; 25 (2 шт.); 30; 33; 34; 35; 37; 40; 41; 43; 45; 47; 48; 50; 53; 55; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 65; 67; 70; 71; 73; 75; 79; 80; 83; 85; 89; 90; 92; 95; 97; 98; 100.

Указанные колеса имеют модуль 2 мм, ширину 20 мм и отверстие $\varnothing 30$ А. Максимальная скорость вращения стола — 12 об/мин, а минимальное число нарезаемых зубьев — 5.

Д в и ж е н и е п о д а ч. Различают следующие виды подачи.

Вертикальная подача—это перемещение фрезы (в мм) вдоль оси заготовки за один оборот стола. Величина подачи выбирается в зависимости от требуемой точности и чистоты поверхности, а также заданной стойкости режущего инструмента. Рекомендуемые величины подачи для чернового и чистового фрезерования приведены в табл. 33. Вертикальная подача производится включением рукоятки 22 (рис. 51), муфты M_1 , рукоятки 1, муфты M_2 и рукоятки 3 (рис. 52), муфты M_3 .

Кинематическая цепь от стола к фрезерному суппорту:

$$s_s = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} (M_2, M_3) \frac{5}{30} \cdot 10;$$

$$s_s = \frac{10}{3} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1},$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} s_s. \quad (41)$$

Как уже было указано, станок имеет устройство для автоматического выключения вертикальной подачи по окончании фрезерования колес.

Радиальная подача. Величина перемещения фрезы (в мм) по направлению к оси заготовки (или обратно) за один оборот стола с заготовкой называется радиальной подачей. Радиальная подача применяется для радиального врезания фрезы в заготовку и для нарезания однозаходных червячных колес. Многозаходные червячные колеса начисто лучше нарезать при тангенциальной подаче.

Кинематическая цепь радиальной подачи следующая:

$$s_p = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \times \\ \times \frac{4}{20} (M_2) \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25} \cdot 10; \\ \frac{a}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{5}{4} s_p. \quad (42)$$

Глубина фрезерования на этом станке выдерживается автоматически с помощью жестких упоров (рис. 54) в сочетании с падающим червяком (рис. 55).

Когда суппортная стойка дойдет до жесткого упора, гайка винта подачи, валики XXVI и XXV (см. рис. 53) перестанут вращаться, следовательно червячное колесо 20 (рис. 55) остановится.

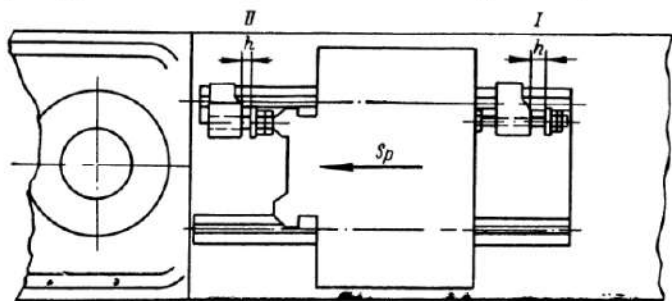


Рис. 54. Схема установки жестких упоров для выключения радиальной подачи суппортной стойки:

h — полная глубина фрезерования; I — установка упора позади стойки при фрезеровании червячных колес малого диаметра; II — установка упора перед стойкой при фрезеровании колес большого диаметра

В это же время валик XXIV будет продолжать вращаться и заставит червяк $k-4$ как бы ввинчиваться, преодолевая сопротивление пружины Π_1 и сдвигаясь вправо (рис. 55). Кулачок K соскользнет с поддерживающей собачки C и червяк «упадет», повернувшись на кронштейне P против часовой стрелки. Подача стойки на заданную глубину прекратится.

Включение червяка производится рукояткой, которая повернет червяк теперь по часовой стрелке и отождмет кулачком K собачку C , поворачивая ее вокруг оси O и сжимая пружину Π_2 . При этом вся система примет первоначальное положение.

Тангенциальная (осевая) подача. Перемещение червячной фрезы вдоль собственной оси называется тангенциальной подачей. Величина подачи измеряется в мм за один оборот стола. Эта подача применяется при нарезании червячных колес.

Для работы с тангенциальной подачей фрезы на станке 5Е32 используется протяжной суппорт. Подача включается рукояткой 22 муфты M_1 по кинематической цепи

$$s_o = 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{50} \cdot 5,$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = s_o. \quad (43)$$

Механизм дифференциала. Цепь дифференциала предназначена для дополнительного вращения стола с заготовкой. Это вращение должно быть со скоростью, равной одному

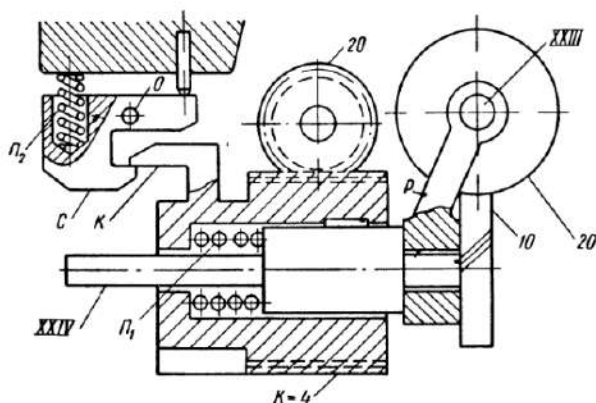


Рис. 55. Схема падающего червяка

обороту стола за период вертикального перемещения суппорта на длину, равную шагу винтовой линии колеса. В случае тангенциальной подачи при осевом перемещении фрезы на величину, равную шагу фрезы, стол дополнительно повернется на один угловой шаг нарезаемого колеса.

Цепь дифференциала включается при нарезании косозубых колес, червячных колес с тангенциальной подачей и колес с простым числом зубьев.

Сущность дополнительного вращения уясняется из следующего. Подача фрезы при нарезании прямого зуба происходит вдоль оси заготовки (рис. 56), при этом величина вертикального перемещения ее за один оборот заготовки равна s_o (AB) мм/об. Как видно из рисунка, для получения косого зуба необходимо, чтобы стол станка повернулся за это время еще на величину дуги $BC = s_o \cdot \operatorname{tg} \beta$. Этот дополнительный поворот производится механизмом станка, называемым дифференциалом.

На рис. 57, а показана схема дифференциала, состоящего из корпуса 5 и четырех одинаковых конических колес 1, 2, 4 и 7 с числом зубьев $z = 30$. На втулке 3 заднего колеса 2 наса-

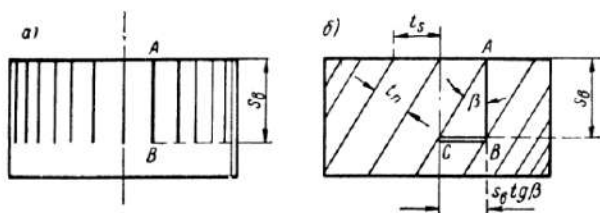


Рис. 56. Образование зубьев: а — прямого; б — косого

жено ведущее колесо $z = 46$. Сцепленные с шестерней 2 конические шестерни 1 и 4 свободно вращаются на крестовине, концы которой входят в пазы корпуса 5. Этот корпус соединен с втул-

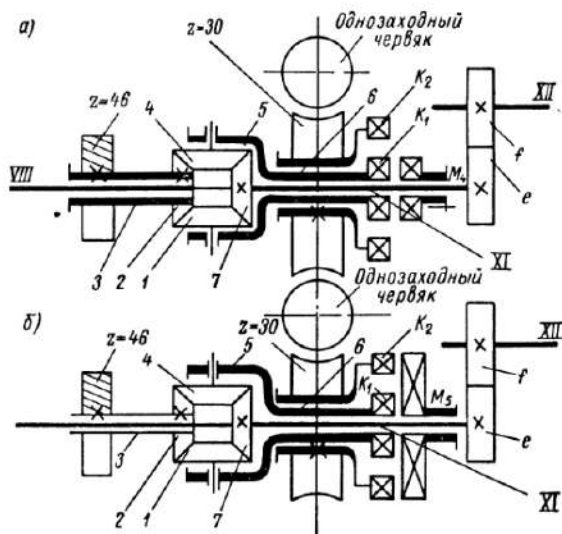


Рис. 57. Схема выключенного (а) и включенного (б) дифференциалов

кой 6, имеющей на конце торцовые зубья K_1 . На этой втулке свободно сидит червячное колесо $z = 30$, на торце хвостовика которого имеются зубья K_2 .

Сидящая на шпонке вала XI муфта M_4 соединяется с втулкой 6. В таком соединении вал XI работает без участия дифференциала (дифференциал блокирован).

Если вместо муфты M_4 будет установлена муфта M_5 (рис. 57, б), то вал XI получит дополнительное вращение от червячного колеса $z = 30$. В этом случае основное движение происходит по цепи

$$46 - 2 - 1 - 7 - \text{вал } XI,$$

а дополнительное по цепи

$$30 - M_5 - 6 - 5 - 1 - 7 - \text{вал } XI.$$

Проследив по этим цепям передачу вращения, видим, что за один оборот колеса $z = 46$ вал XI сделает один оборот. За один оборот червячного колеса $z = 30$ вал XI сделает два оборота. Следовательно, передаточное отношение дифференциала $i_{\text{диф}} = 2$. Если колеса $z = 46$ и $z = 30$ вращаются одновременно и делают по одному обороту за одинаковое время, то вал XI за то же время сделает три оборота.

Допустим, что вал XI для сообщения дополнительного вращения столу должен сделать n оборотов, а для сообщения основного вращения — n_1 оборотов. Тогда отношение числа оборотов добавочного вращения n к числу оборотов основного будет равно

$$\frac{s_s \cdot \operatorname{tg} \beta}{\pi d} = \frac{n}{n_1}.$$

Из кинематической схемы (рис. 53) видно, что сообщение валу XI добавочного вращения осуществляется следующей цепью:

$$\begin{aligned} \text{вал } XI - \frac{e}{f} - \text{вал } XII - \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} - \text{вал } XIII - \frac{2}{24} - \\ - \text{вал } XV - \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} - \text{вал } XVI - \text{муфта } M_1 - \\ - \text{вал } XVII - \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} - \text{вал } XVIII - \frac{1}{30} - \\ - \text{муфта } M_5 - \text{корпус } 5 - \text{дифференциал} - \text{вал } XI. \end{aligned}$$

Уравнение этой цепи:

$$n_1 \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{1}{30} \cdot i_{\text{диф}} = n.$$

В этом уравнении

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24k}{z}; \quad \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} s_s; \quad \frac{e}{f} = 1; \quad i_{\text{диф}} = 2.$$

Подставив эти значения, получим

$$\frac{n}{n_1} = \frac{s_s \cdot k}{25z} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2}.$$

Заменяя $\frac{n}{n_1}$ равным ему выражением $\frac{s_g \cdot \operatorname{tg} \beta}{\pi d}$ и учтя, что

$$\pi d = z t_s = z \frac{t_n}{\cos \beta} = z \frac{\pi m_n}{\cos \beta},$$

получим окончательную формулу для настройки гитары дифференциала

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{7,95775 \cdot \sin \beta_d}{m_n k}. \quad (44)$$

Пользование этой формулой представляет известные трудности и практически настройку гитары дифференциала производят по прилагаемой к паспорту станка специальной табл. 30.

Однако полученная из формулы (44) десятичная дробь с точностью до 6-го знака с помощью специальных таблиц¹ может быть обращена в простую дробь или в произведение двух простых дробей, числитель и знаменатель которых соответствует числам зубьев сменных колес.

Механизмы ускоренного и ручного передвижения. К этим механизмам относятся следующие.

Механизм передвижения суппорта. Передвижение шпинделя VII с фрезой в конце обратного хода суппорта производится включением электродвигателя Э4. Скорость передвижения определяется из выражения

$$v_{\text{пер}} = 1410 \cdot \frac{9}{16} \cdot \frac{1}{120} \cdot 5 \approx 35 \text{ мм/мин.}$$

Передвижение фрезы прекращается выключением Э4 с помощью маятникового реле времени.

Механические и ручные быстрые перемещения. Для быстрых механических перемещений суппорта, суппортной стойки и шпинделя VII включают электродвигатель Э2.

Вертикальное быстрое перемещение суппорта происходит при включенных муфтах M_2 и M_3 и выключенном падающем червяке $k-4$ вала XXIV со скоростью

$$\begin{aligned} v_s &= 1440 \cdot \frac{16}{42} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} M_2 \cdot M_3 \frac{5}{30} \cdot \frac{10 \cdot 1}{1000} = \\ &= 0,229 \text{ м/мин.} \end{aligned}$$

Вручную это перемещение осуществляется вращением рукоятки при выключенной муфте M_2 и включенной M_3 . За один оборот рукоятки происходит перемещение

$$s_g = 1 \cdot M_3 \cdot \frac{5}{30} \cdot 10 \cdot 1 = 1,6 \text{ мм.}$$

¹ М. В. С а н д а к о в. Таблицы для подбора шестерен. Свердловск, Машгиз, 1960. В. А. Ш и ш к о в. Подбор зубчатых колес. Машгиз, 1946.

Таблица настройки гитары

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} =$$

(m_n — нормальный модуль нарезаемого колеса в мм;

β_d в град	Модуль нор							
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75
5	43 62	62 41 58 79	58 30 53 71	62 33 58 89	70 24 57 85	43 20 31 90	24 43 62 60	43 83 58 97
6	43 50 47 55	30 62 65 43	30 61 60 55	61 30 55 70	43 41 53 80	40 55 70 85	50 37 67 83	25 53 60 73
7	40 60 55 45	55 37 43 61	40 70 61 71	47 50 53 80	30 70 71 61	34 62 67 73	61 30 53 89	58 33 59 92
8	62 73 61 67	58 33 45 48	41 67 60 62	45 41 53 55	40 45 65 50	45 35 40 80	30 65 62 71	58 34 59 83
9	75 65 50 47	55 43 25 95	50 30 60 83	65 40 43 85	50 59 60 79	30 71 70 55	50 47 59 80	40 47 62 67
10	40 57 50 33	35 70 60 41	53 73 60 70	47 73 55 79	45 35 40 57	47 62 65 73	40 53 65 59	59 41 58 83
11	67 47 34 61	58 67 59 80	53 34 20 89	47 60 50 65	59 62 61 79	55 37 45 67	33 53 60 48	45 60 73 67
12	65 35 25 55	55 71 60 59	45 40 34 48	65 40 50 55	35 65 55 50	25 34	61 30 35 79	55 35 40 80
13	48 80 65 33	45 70 55 40	41 70 65 37	47 58 65 41	48 40 33 65	40 53 41 65	50 67 65 71	40 59 55 65
14	55 70 50 40	55 35 25 50	55 70 50 60	55 50	55 35 40 50	43 58 53 55	67 30 45 58	35 50
15	59 83 58 41	59 71 62 41	34 20 55 90	41 58 47 43	45 73 58 55	65 71	40 62 70 43	45 65 71 55
16	47 70 50 30	79 45	47 70 50 45	60 47 30 75	47 70 60 50	45 65 50 60	62 30 40 53	41 79 70 58
17	70 30	58 57 37 48	70 41 37 50	45 65 55 40	62 50 41 65	65 35 40 55	65 30 33 55	55 65
18	65 70 37 50	60 70 61 35	60 50 30 61	55 53 34 61	47 73 62 45	47 43	45 40 30 61	57 40 30 85
19	61 79 62 30	57 60 33 50	57 33	60 57 33 70	57 45 33 60	57 40 33 60	57 45 33 75	30 57 55 33
20	50 83 61 25	61 70 53 37	70 35 30 45	70 45	53 57 37 60	33 55 50 30	60 45 40 62	55 62 53 65

дифференциала 5Е32

$$7,95775 \sin \beta_\partial$$

$$m_k k$$

 β_∂ — угол наклона зуба; k — число заходов фрезы)
мальный m_k

3	3,25	3,50	3,75	4	4,5	5	5,5	6
45 30 73 80	45 33 71 98	20 43 68 70	33 65 50 58	37 25 50 100	23 45 79 85	43 20 62 100	25 30 70 85	20 47 83 98
33 34 57 71	41 25 45 89	34 37 67 79	23 50 61 85	23 50 70 79	34 30 62 80	25 37 67 83	45 20 70 85	43 20 62 100
30 58 65 83	25 50 59 71	23 83	61 20 53 89	35 23 40 83	25 30 58 60	40 20 55 75	41 24 62 90	40 20 55 90
20 60 65 50	50 37 61 89	25 79	33 47 59 89	53 20 59 71	20 40 65 50	55 25 73 85	47 30 70 100	30 37 62 97
61 20 30 98	43 37 62 67	65 20 43 85	33 58 73 79	59 25 60 79	40 35 55 92	52 23 59 83	43 24 57 80	61 20 60 98
57 20 33 75	53 43 67 80	55 35 65 75	30 65 79 67	57 20 55 60	47 25 43 89	20 59 61 70	24 37 57 62	30 37 61 79
40 53 59 71	45 30 34 85	34 40 57 55	25 60 65 57	55 37 67 80	45 30 50 80	34 43 58 83	53 25 60 80	62 20 50 98
65 35 55 75	60 35 55 75	30 65 75 55	60 25 40 85	33 50 57 70	24 62 71 57	58 33 65 80	33 43 53 89	30 53 73 79
41 35 37 65	40 58 62 67	53 25 35 73	65 20 34 79	53 25 40 73	40 30 35 85	53 33 61 79	33 30 50 60	25 53 60 73
45 40 33 85	35 55 50 65	35 55 50 70	55 35 50 75	55 34 58 67	55 35 50 90	60 30 55 85	41 45 62 85	43 75 71 83
45 65 71 60	5 71	37 65 61 67	53 43 50 83	53 40 58 71	30 65 71 60	62 25 53 71	23 60 67 55	60 30 57 92
65 45 50 80	37 55 67 45	30 61 73 40	58 47 59 79	34 62	65 30 50 80	25 50 60 45	35 47 55 75	20 53 58 50
30 61 59 40	45 35 40 55	59 40 50 71	55 37 41 80	33 55 65 48	65 35 55 80	33 55 60 65	30 55 60 65	40 33 37 92
43 65 55 62	70 37 58 59	47 45 43 70	61 43 50 80	40 58 61 62	47 35 43 70	40 45 61 60	34 53 62 65	26 61
30 57 60 33	30 57 65 33	57 30 33 70	57 30 33 75	57 30 33 80	40 58 65 62	48 40 57 65	65 30 45 92	34 55 61 71
33 62 55 41	47 62 58 60	35 45	60 43 45 79	67 43 58 73	33 55 50 60	43 79	50 43 55 79	30 65 70 60

β_θ в град	Модуль нор							
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75
21	55 70 45 30	67 79 40 58	59 70 41 53	58 59 30 70	55 70 60 45	61 40 35 55	40 65 53 43	40 70 60 45
22	65 47 25 41	53 45 25 40	70 23 40 80	57 33 23 48	47 65 50 41	53 40	47 60 55 43	53 45 40 55
23	45 57 33 25	62 60 23 65	60 57 33 50	48 73 58 34	45 57 50 33	60 57 33 75	60 65 55 57	60 47 43 58
24	47 73 53 20	58 76 48 35	58 40 25 43	53 70 59 34	65 59 30 79	47 71 58 40	58 75 70 48	70 47 43 65
25	65 70 33 41	65 60 25 58	62 34 20 47	65 55 30 62	60 37 24 55	58 67 40 65	55 45 23 80	50 61 43 58
26	67 79 41 37	60 50 25 43	50 70 53 35	58 55 20 80	50 60 43 40	53 79 60 45	60 43	60 37 25 70
27	65 50 20 45	58 75 43 35	45 80 65 23	50 83 67 30	58 83 65 41	60 57 30 71	45 79 60 41	62 53 41 61
28	62 85 30 47	57 73 58 24	57 43 24 41	79 37	65 50 30 58	58 71 62 40	60 65 58 45	65 58 37 75
29	60 45 20 35	57 65 40 30	60 75 50 35	48 73 53 30	50 80 61 34	60 35	60 45 25 70	45 60 55 35
30	62 57 24 37	58 45 20 41	48 62 34 33	57 45 24 47	65 71 40 58	50 58 40 41	55 61 62 34	58 60 65 37
35	70 75 50 23	70 48 23 40	70 23	60 23	47 85 70 25	47 79 61 30	70 48 23 80	60 65 50 47
40	70 75 37 24	70 60 24 37	70 50 24 37	60 50 24 37	57 70 65 24	65 58 35 41	55 61 40 41	60 62 50 40
45	71 65 20 41	60 75 50 20	65 73 55 23	60 45 24 35	65 50 33 35	50 60 40 30	67 73 53 41	57 70 65 30
50	65 75 40 20	65 60 20 40	65 60 20 48	62 58 24 43	60 47 25 37	70 75 34 57	48 57 34 33	70 57 30 60
55	61 59 23 24	60 70 35 23	60 80 48 23	65 47 20 41	61 59 23 48	65 41 23 40	57 70 45 34	62 65 34 50
60	65 70 33 20	65 70 33 25	62 30 45 24	70 45 20 40	65 70 33 40	60 48 20 47	65 70 33 50	62 57 30 47

малый m_H								
3	3,25	3,50	3,75	4	4,5	5	5,5	6
62 23 20 75	40 50 53 43	40 55 45 60	60 55 62 70	35 55 45 60	45 71	55 35 45 75	61 34 50 80	55 35 45 90
45 55 47 53	47 60 53 58	58 47 40 80	60 53 50 80	61 33 37 73	53 30 40 60	33 62 47 73	30 62 47 73	45 53 60 80
58 41 37 62	50 60 55 57	65 41 40 75	48 57 55 60	48 24 30 57	37 65 58 60	60 34 41 80	40 67 79 60	40 48 65 57
43 70 62 45	47 50 59 40	43 60 45 62	43 50 53 47	43 7 60 62	34 55 65 40	67 43 50 89	37 65 67 61	35 47 50 61
55 53 40 65	55 35 30 62	55 65 30 62	61 43 45 65	53 58 47 55	60 45 41 70	61 33 41 73	61 30 41 73	65 35 45 90
53 70 58 55	50 60 65 43	43 70 60 50	40 43	45 50 43 60	62 55 53 83	55 34 20 67	43 59 50 80	50 40 43 80
50 60 47 53	53 73 60 58	60 55 43 71	61 43 40 65	53 58 50 65	30 65 58 40	37 70 58 59	43 67 59 71	59 55 62 83
50 65 58 45	58 55 37 75	43 70 60 47	40 65 45 58	45 55 50 53	47 53 50 60	47 62 60 65	59 43 45 83	33 53
45 35	45 60 65 35	60 45 35 70	45 40 35 70	60 45 40 70	30 35	30 45 50 35	45 30 35 55	30 60 57 48
50 65 70 35	70 55 37 85	55 62 50 60	40 65 70 35	50 58 53 55	60 35 25 95	37 60 62 45	45 70 65 67	45 53 58 62
55 65 47 50	47 70 71 33	65 47 33 71	41 57 48 40	55 71 58 59	41 50 43 47	50 60 53 62	34 41 48 40	50 30 34 58
59 62 65 33	58 45 35 41	57 50 30 65	35 53 40 34	57 35 24 65	55 58 40 70	59 62 55 65	40 43	40 65 61 50
59 67 62 34	50 80 70 33	57 55 30 65	71 65 41 75	40 80 65 35	47 60 55 41	70 41 34 75	57 35 30 65	45 47 41 55
60 65 48 40	70 41 34 45	60 45 25 62	60 55 35 58	40 60 45 35	55 50 35 58	55 45 35 58	50 45 35 58	40 80 70 45
57 43 24 47	62 55 34 50	65 4 40 41	57 43 30 47	40 55 45 30	65 41 23 80	57 55 37 65	55 50 40 58	57 43 48 47
62 40 24 24	60 41 20 58	70 45 20 80	65 41 25 58	48 70 65 30	65 41 30 58	37 57 45 34	55 41 40 45	62 57 47 60

Радialное быстрое перемещение суппортной стойки осуществляется при включенных муфте M_2 и падающем червяке $k-4$ вала XXIV и выключенной муфте M_3 . Скорость перемещения определяется из цепи

$$v_p = 1440 \cdot \frac{16}{42} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{1}{20} M_2 \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \times \\ \times \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{10 \cdot 1}{1000} = 0,055 \text{ м/мин.}$$

Ручное перемещение осуществляется вращением съемной рукоятки головки 4 (рис. 52) при выключенном червяке $k-4$. За один оборот рукоятки стойка перемещается на величину

$$s_p = 1 \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25} \cdot 10 \cdot 1 = 4 \text{ мм.}$$

Каждое деление лимба квадрата 4 соответствует перемещению суппортной стойки на величину 0,02 мм.

Управление станком при выполнении основных циклов работы

Обработка колес на станке производится по замкнутому циклу (рис. 58) методом встречного (подача фрезы сверху вниз) или попутного (снизу вверх) фрезерования с передвижением фрезы или без передвижения в конце каждого цикла.

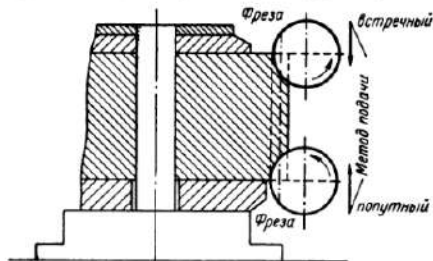


Рис. 58. Схема, поясняющая методы встречного и попутного фрезерования

Встречное фрезерование.

Переключатель 9 устанавливают в положение «Встречный» (рис. 52). При работе с передвижением фрезы рукоятку 43 ставим в положение «Включено», а кулачки 26 и 27 (рис. 51) — в положение, соответствующее передвижению фрезы на длину режущей части с изменением направления передвижения в конце хода.

Величина передвижения отмечается по шкале. Цикл обработки заготовки начинается нажатием кнопки 11 «вниз», при этом включается электродвигатель 32 и суппорт быстро опускается (подводится) до тех пор, пока кулачок 17 не нажмет на ролик переключателя ПВ1. В этот момент выключается 32 и включаются 31 и 33. С выключением 32 быстрый ход суппорта прекращается. Включенный электродвигатель 31 приводит во вращение шпиндель с фрезой и лопастной насос, подающий масло в цилиндр для устранения зазора в винтовой паре суппорта, а электродвигатель 35 приводит в действие центробеж-

ный насос для подачи на фрезу охлаждающей жидкости. Далее происходит рабочая подача суппорта до тех пор, пока кулачок 16 не нажмет на ролик переключателя ПВЗ, в связи с чем выключаются электродвигатели Э1 и ЭЗ и включается с обратным вращением Э2, подавая быстрым ходом суппорт вверх. Ход вверх продолжается до нажатия кулачком 18 ролика переключателя ПВ2, останавливающего электродвигатель Э2 и включающего Э4 для передвижения фрезы.

Величина каждого передвижения фрезы регулируется грузиком маятника реле времени, определяющего продолжительность работы Э4. Цикл фрезерования встречным методом этим заканчивается.

Попутное фрезерование. Попутное фрезерование возможно на станках, имеющих специальное гидравлическое устройство, описание которого приводится ниже (рис. 65). Вначале устанавливают переключатель 9 (см. рис. 52) в положение «Попутный». Нажимая на кнопку 14 (вверх), включают электродвигатель Э2, благодаря чему происходит быстрый подъем суппорта до тех пор, пока кулачок 17 не нажмет на переключатель ПВ1. В этот момент выключается Э2 и включаются Э1 и ЭЗ, т. е. выключается быстрый подвод суппорта и включаются рабочая подача, вращение фрезы, подача масла в гидроустройство, а также подача охлаждающей жидкости на фрезу.

Когда кулачок 18 нажмет на переключатель ПВ2, электродвигатели Э1 и ЭЗ выключаются, а электродвигатель Э2 получит обратное вращение, вследствие чего суппорт 11 будет быстро опускаться до тех пор, пока кулачок 16 не нажмет на переключатель ПВЗ. Переключатель ПВЗ выключает Э2, останавливая суппорт в нижнем положении, и включает Э4, произведя передвижение фрезы. Этим цикл попутного фрезерования заканчивается.

24. УСТАНОВКА ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ

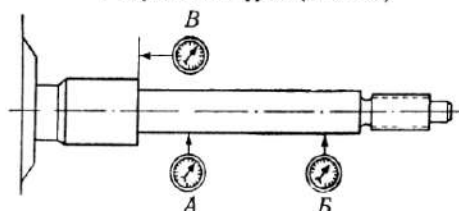
Установка червячной фрезы, ее выверка и закрепление

Фрезерную оправку вставляют в коническое отверстие в шпинделе и затягивают винтом. В таком положении оправка проверяется индикатором на радиальное биение в точках А и Б и торцовое биение в точке В. Допускаемые величины биения приведены в табл. 31. Для устранения биения иногда приходится вынимать оправку и ставить ее в другое положение.

Перед установкой фрезы необходимо проверить ее соответствие характеристике зацепления и степени точности нарезаемого колеса. Установочные кольца надеваются на оправку со шпонкой; желательно, чтобы колец было как можно меньше, так как каждое кольцо является источником погрешностей.

Установленную и закрепленную на оправке червячную фрезу проверяют на радиальное биение по контрольному буртику

Допускаемые величины биения фрезерных оправок
и червячных фрез (в $\mu\text{м}$)



Проверяемые элементы	Сечения	Степени точности		
		7	8	9
Биение фрезерной оправки (без под- держивающего подшипника)	A	20	25	30
	B	30	35	45
	B	10	15	20
Биение червячной фрезы	—	30	35	50
Радиальное биение отверстия шпин- деля	—	15	20	25
Осевое биение шпинделя	—	10	15	15
Осевой разбег шпинделя	—	15	20	20

(рис. 59). Затем суппорт с фрезой поворачивают на угол установки γ , измеряемый между осью фрезы и плоскостью, перпендикулярной к оси нарезаемого колеса.

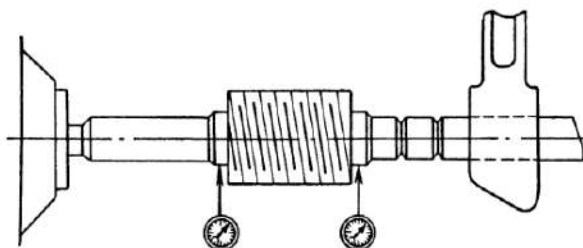


Рис. 59. Схема проверки установки червячной фрезы
по контрольному буртику

При нарезании прямозубых колес суппорт поворачивают на угол подъема витков фрезы λ (величина угла маркирована на торце фрезы). Если витки правые, суппорт поворачивают по часовой

стрелке, а если витки левые, суппорт поворачивают против часовой стрелки (рис. 60). Таким образом, при нарезании прямозубых колес угол установки суппорта определяется из равенства $\gamma = \lambda$. При нарезании колес с косыми зубьями угол установки суппорта определяется из следующих зависимостей:

1) при одинаковых направлениях витков фрезы и зубьев нарезаемого колеса $\gamma = \beta_d - \lambda$;

2) при разных направлениях витков фрезы и зубьев нарезаемого колеса $\gamma = \beta_d + \lambda$, где β_d — угол наклона винтовой линии зубьев нарезаемого колеса по делительному цилиндру.

Установка заготовки на столе, ее выверка и закрепление

Оправка, предназначенная для детали, закрепляется на столе станка. Все соприкасающиеся поверхности (отверстие в стакане, конус оправки, шайбы, гайки, подставки и др.) следует проверить на отсутствие забоин и тщательно удалить с них пыль и соринки во избежание перекоса и биения заготовки.

Установленную оправку проверяют индикатором на биение; величина биения для точных колес допускается в пределах 0,01—0,02 мм. Многие заготовки устанавливаются на специальные приспособления, монтируемые на столе станка.

Примеры установок заготовок в зависимости от их формы и размеров приведены на рис. 61. Установленную

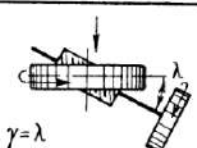
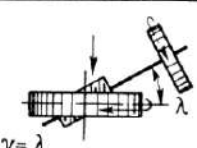
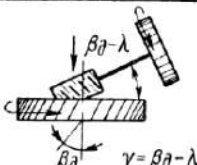
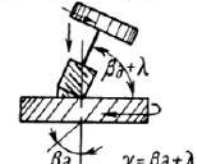
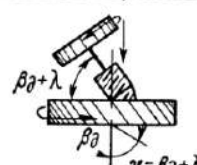
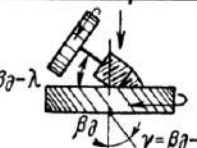
Колесо	Фреза	Эскиз
Прямозубое	Правая	
	Левая	
Косозубое правое	Правая	
	Левая	
Косозубое левое	Правая	
	Левая	

Рис. 60. Установка и направление вращения фрезы и заготовки для прямозубых и косозубых колес

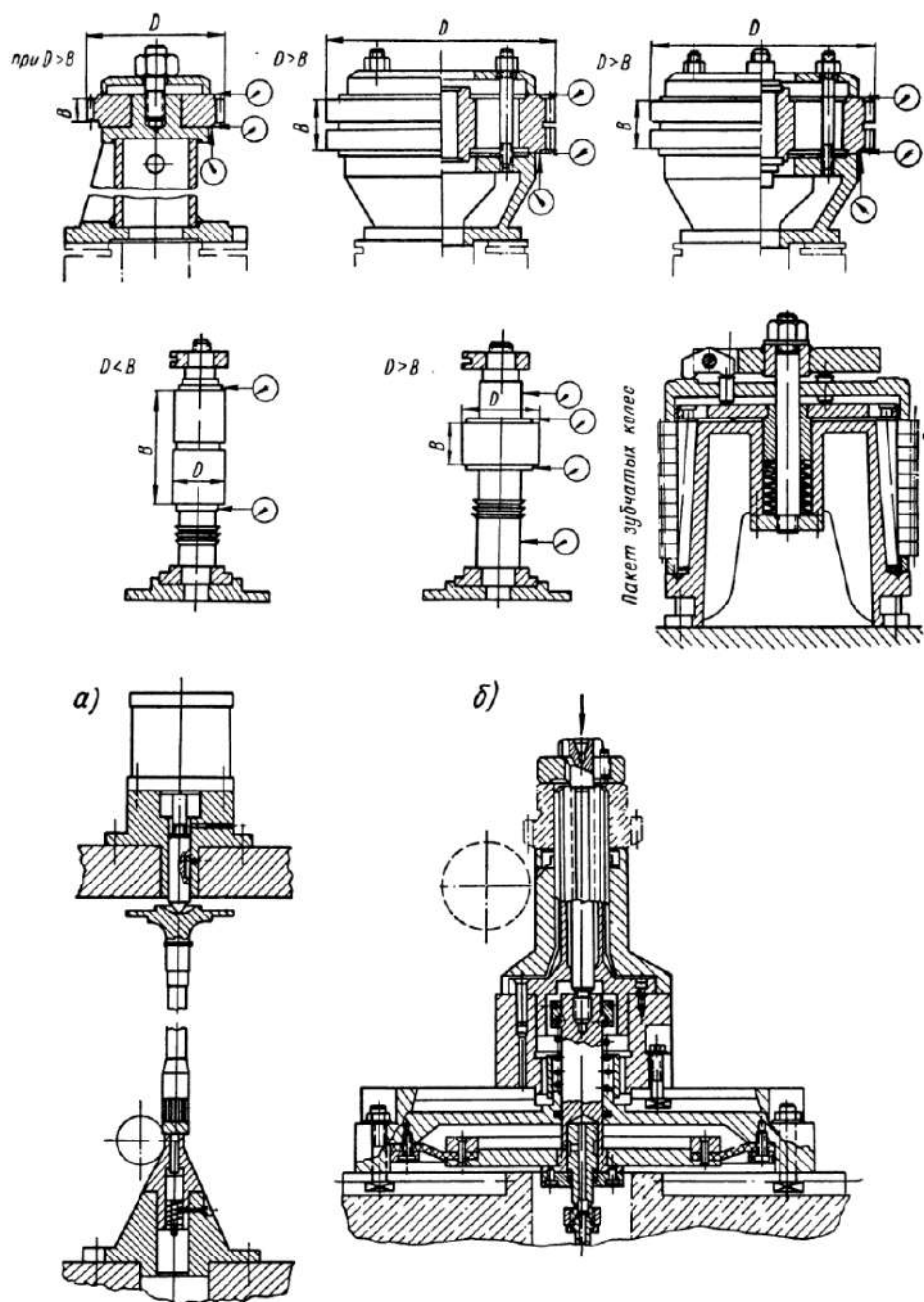


Рис. 61. Примеры установки, крепления и выверки заготовок зубчатых колес на зуборезных станках

заготовку сначала проверяют на радиальное и торцовое биение, не закрепляя ее, затем закрепляют и повторно проверяют.

Допустимые величины радиального и торцового биения заготовок даны в табл. 32. При установке и закреплении заготовок на станке надо учитывать следующее:

1) опорные поверхности, которыми заготовка прижимается к установочному приспособлению, должны быть перпендикулярны к оси заготовки и расположены по возможности ближе к месту приложения усилий резания;

2) крепление должно быть таким, чтобы заготовка не деформировалась и не проворачивалась в процессе обработки;

3) все центрирующие и опорные поверхности надо тщательно очищать от стружки и грязи.

Таблица 32

Допустимые величины радиального и торцового биения заготовок

Степень точности		Диаметры зубчатых колес в мм						
		до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320	св. 320 до 500	св. 500 до 800
		Радиальное биение наружного диаметра заготовки в мм						
7		18	24	28	32	38	45	55
8		28	36	45	55	60	65	80
9		45	60	65	80	100	110	130
Степень точности	Толщина заготовки колеса в мм	Торцовое биение базового торца заготовки в мм						
7	До 55	13	15	20	32	55	85	135
	Св. 55 до 100	—	—	11	18	28	45	70
	Св. 110 до 160	—	—	—	13	20	32	50
8	До 55	14	18	26	40	66	105	170
	Св. 55 до 110	—	—	14	23	36	56	90
	Св. 110 до 160	—	—	—	16	26	40	65
9	До 55	18	24	34	55	90	135	220
	Св. 55 до 110	—	—	18	30	50	70	120
	Св. 110 до 160	—	—	—	20	30	50	80

25. НАЛАДКА СТАНКА 5Б32 ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Наладка станка состоит из следующих операций: установки червячной фрезы и заготовки; настройки гитары скоростей, гитары деления, гитары подачи и гитары дифференциала; установки червячной фрезы на глубину фрезерования и по высоте.

После установки фрезы и заготовки следующей операцией является настройка гитар.

Настройка гитары скоростей

Эта операция обеспечивает установление числа оборотов фрезы при заданном ее диаметре и скорости резания. Скорость резания выбирается в зависимости от модуля, вида обработки (черновая или чистовая) и других факторов.

В табл. 33 приведены скорости резания для зубофрезерных станков, а в табл. 11 — размеры червячных фрез. Пользуясь этими данными, определяют скорость вращения фрезы по формуле

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot v_{\phi}}{\pi \cdot d_{\phi}},$$

а затем подбирают из имеющегося комплекта сменные колеса (табл. 29).

Можно определить число оборотов фрезы и сменные колеса по графику (рис. 62). Проведя горизонталь от выбранной скорости резания и вертикаль от диаметра фрезы, получим точку пересечения A_1 . Ближайшая наклонная линия чисел оборотов укажет на полях графика сменные колеса гитары скоростей.

Режимы резания в табл. 33 приведены для стойкости фрез (в мин) в зависимости от модуля и материала колес:

Фрезы	Материал заготовки	Модуль в мм			
		до 4	5—6	7—8	10—12
Черновые	Сталь	240	360	480	720
Чистовые		240	240	240	360
Черновые	Чугун	480	720	960	1440
Чистовые		480	480	480	720

В зависимости от требуемой стойкости фрезы скорость резания v_p должна быть умножена на коэффициент k_{mv} .

Потребная стойкость в долях от расчетной	0,25	0,5	1	2
k_{mv} при обработке:				
стали	1,6	1,3	1,0	0,8
чугуна	1,3	1,1	1,0	0,85

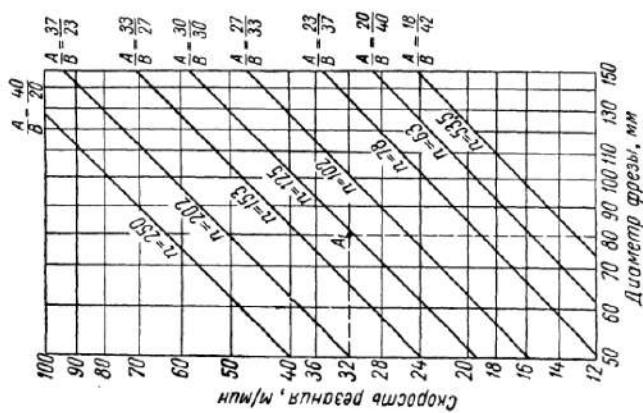
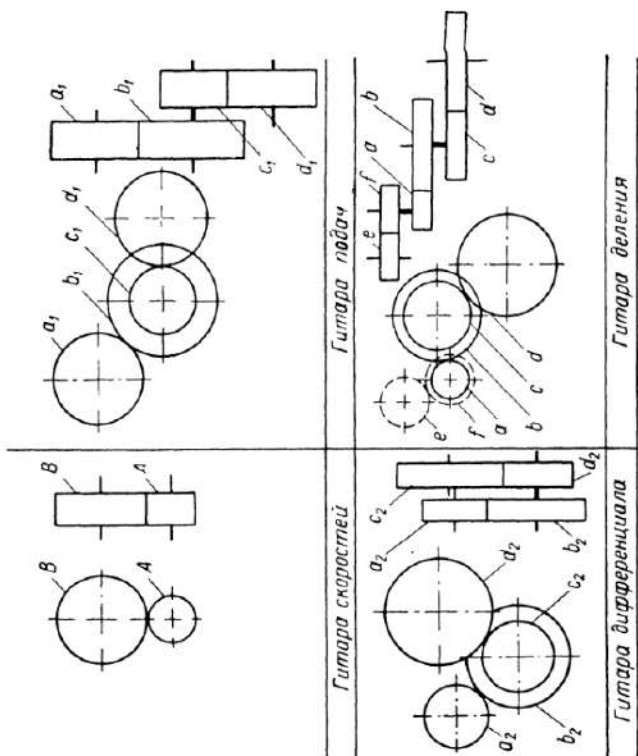


Рис. 62. График по определению числа оборотов фрезы и сменных колес гитары скоростей для станка модели 5E32



**Скорости резания (v_p в м/мин) и подачи (s_0 в мм/об)
при нарезании зубьев цилиндрических колес червячными фрезами
из стали Р18**

1. Черновая обработка									
Модуль в мм	Мощность привода станка в кВт								
	1,5—2,8		3—4		5—9		10—14		
	s_0	v_p	s_0	v_p	s_0	v_p	s_0	v_p	
Колеса из стали 45, НВ 170—207									
До 4	1,6—2,0	42—36	2,6—3,0	32—29	2,8—3,2	30—28	2,8—3,2	30—28	
5—6	1,2—1,4	40—33	2,2—2,6	35—33	2,4—2,8	30—27	2,6—3,0	23—21	
7—8	—	—	2,0—2,2	26—25	2,2—2,6	25—23	2,4—2,8	24—22	
10—12	—	—	—	—	2,0—2,4	22—20	2,2—2,6	21—19	
Колеса из серого чугуна, НВ 170—210									
До 4	1,8—2,2	40—37	2,8—3,2	35—33	3,0—3,5	29—27	3,0—3,5	29—27	
5—6	1,3—1,6	34—32	2,4—3,0	32—29	2,6—3,0	27—26	2,8—3,3	29—28	
7—8	—	—	2,2—2,4	29—28	2,5—2,8	29—28	2,6—3,0	28—26	
10—12	—	—	—	—	2,2—2,6	25—24	2,4—2,8	25—23	
2. Чистовая обработка									
Модуль в мм	Для колес из стали 45, НВ 170—207				Для колес из серого чугуна, НВ 170—210				
	▽4—▽5		▽6		▽4—▽5		▽6		
	s_0	v_p	s_0	v_p	s_0	v_p	s_0	v_p	
Без предварительной черновой обработки									
До 2	1,0—1,2	44—38	0,5—0,8	60—54	1,2—1,4	27—25	0,5—0,8	35—31	
2—3	1,2—1,8	38—27	0,8—1,0	54—44	1,4—1,8	32—28	0,8—1,0	40—37	
3—5	1,4—1,8	32—27	1,0—1,2	44—38	1,6—2,0	32—28	1,0—1,2	37—34	
После черновой обработки зубьев (второй проход)									
До 12	2,0—2,5	24—22	0,7—0,9	20—18	2,0—2,5	26—23	0,7—0,9	22—20	
Св. 12	3,0—4,0	20—18	1,0—1,2	16—14	3,0—4,0	22—20	1,0—1,2	18—16	
Примечания: 1. При работе двухзаходными фрезами подача должна быть уменьшена на 15—20%, а скорость резания — на 5—10%; для трехзаходных фрез подача уменьшается на 20—30%, а скорость резания — на 15—20%. 2. Меньшие подачи следует принимать при обработке колес с числом зубьев до 25, а большие — с числом колес свыше 25. При попутном фрезеровании скорости и подачи надо увеличивать на 20—25%.									

В зависимости от марки материала скорость резания v_p и величину подачи s_0 следует умножить на коэффициенты k_s и k_v							
Марка стали	35	45, 35Х, 40Х	45	⁵⁰ 12ХНЗА, 18ХГТ, 20Х	30ХГТ	18Х2Н4ВА, 38ХМЮА, 40ХНМА	
Твердость НВ	До 187	До 207	До 241	До 229	До 207	До 229	До 285
k_s	1,0	1,0	—	0,9	—	0,8	0,7
k_v	1,1	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6
В зависимости от наклона зубьев (β_0) скорость v_p и подача s_0 должны быть умножены на коэффициенты k_{s1} и k_{v1}							
Угол наклона β_0	0	15	30	45	60		
k_{s1}	1	$\frac{0,9}{0,75}$	$\frac{0,8}{0,65}$	$\frac{0,65}{0,5}$	$\frac{0,45}{0,35}$		
k_{v1}	1	1,0	0,9	0,8	0,7		
Примечание. В числителе величина k_{s1} указана для одноименного направления витка фрезы и наклона зубьев колеса, а в знаменателе — для разноименных направлений.							

Выбранные колеса устанавливаем на гитару скоростей, как изображено на рис. 63.

Настройка гитары деления

Расчет сменных колес производится по формулам (45) и (46), а набор их — из общего комплекта. Для ускорения подбора сменных колес пользуются готовой таблицей, рассчитанной для работы однозаходной фрезы.

Правильность набора сменных колес гитары деления проверяют при включенной цепи обкатывания. Фрезу подводят к заготовке так, чтобы при вращении она оставляла легкий след на цилиндрической поверхности заготовки (рис. 64). Стол должен сделать не меньше одного оборота. Количество следов контакта фрезы с заготовкой должно совпадать с числом зубьев нарезаемого колеса.

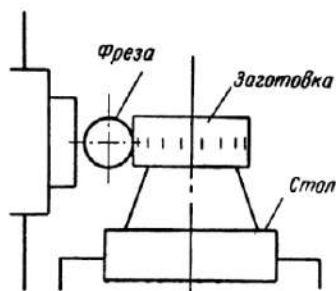


Рис. 64. Схема проверки правильности набора сменных колес гитары деления

Настройка гитары подач

На станке 5Е32 может производиться вертикальная подача для нарезания цилиндрических колес и радиальная и тангенциальная — для нарезания червячных колес.

Вертикальная подача может осуществляться методом встречного или попутного фрезерования (см. рис. 53). Попутное фрезерование дает более высокую чистоту обработанной поверхности

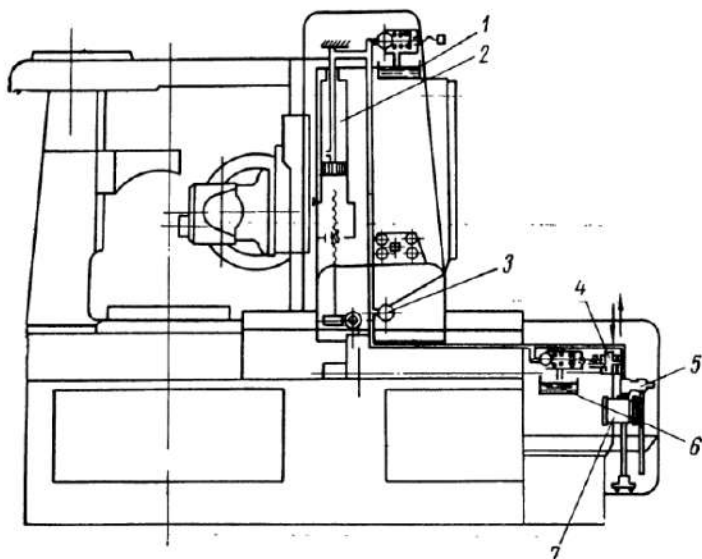


Рис. 65. Гидроустройство для попутного фрезерования:

1 — масляная ванна для смазки механизмов суппортной стойки; 2 — гидроцилиндр; 3 — манометр, контролирующий давление в гидроцилиндре; 4 — золотник; 5 — регулирующий клапан; 6 — ванна для смазки механизмов главных движений; 7 — лопастной насос

и позволяет повысить скорость резания на 20—25%. Попутное фрезерование может осуществляться на станках, имеющих специальное гидравлическое устройство (рис. 65), предназначенное для устранения зазоров между гайкой суппорта и ходовым винтом вертикальной подачи. Суппорт жестко связан с гидроцилиндром, который перемещается относительно неподвижного поршня. Масло от гидронасоса через полый шток поршня нагнетается в цилиндр; под действием давления поршень поднимается вверх и прижимает гайку суппорта к боковой поверхности ходового винта с усилием около 420 кГ. Во время фрезерования гидросистема перекрывается, избыток масла выходит через клапаны сопротивления, которые поддерживают в системе давление в 15—17 ат, что необходимо только во время фрезерования. При установочных операциях такое давление в системе даже вредно. Поз-

тому рукоятка включения и выключения подачи 30 (рис. 52) сблорирована с золотником гидросистемы так, что только при рабочей подаче гидросистема перекрывается и давление в цилиндре достигает до указанной величины.

При включении рабочей подачи той же рукояткой 30 масло гидросистемы отводится в бак, давление падает и гайка разгружается. Масло из гидроцилиндра через клапаны сопротивления отводится в ванны 6 и 1 и используется для смазки станка. Величина подачи выбирается в зависимости от модуля и числа нарезаемых зубьев, материала колес и требуемой чистоты поверхности.

Величины подач и числа зубьев сменных колес в соответствии с выбранной вертикальной, радиальной и осевой подачами даны в табл. 34.

Т а б л и ц а 34

Настройка гитары подач зубофрезерного станка 5Е32

Подача в мм на один оборот стола			Сменные зубчатые колеса				Подача в мм на один оборот стола			Сменные зубчатые колеса			
вертикальная подача суппорта	радиальная подача суппорта	осевая подача фрезы	a_1	b_1	c_1	d_1	вертикальная подача суппорта	радиальная подача суппорта	осевая подача фрезы	a_1	b_1	c_1	d_1
0,25	0,06	0,075	$\frac{20}{20}$	$\frac{80}{79}$	$\frac{24}{23}$	$\frac{79}{75}$	2,0	0,48	0,60	$\frac{30}{33}$	—	—	$\frac{50}{55}$
0,5	0,12	0,150	$\frac{20}{30}$	$\frac{75}{60}$	$\frac{45}{24}$	$\frac{80}{80}$	2,5	0,6	0,75	$\frac{30}{60}$	—	—	$\frac{40}{70}$
0,75	0,18	0,225	$\frac{45}{24}$	$\frac{50}{40}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{80}{80}$	3,0	0,72	0,9	$\frac{60}{45}$	$\frac{40}{—}$	$\frac{30}{—}$	$\frac{50}{50}$
1,0	0,24	0,30	$\frac{20}{30}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{30}{45}$	$\frac{50}{75}$	3,5	0,84	1,05	$\frac{100}{25}$	$\frac{71}{40}$	$\frac{50}{89}$	$\frac{67}{53}$
1,25	0,30	0,37	$\frac{30}{35}$	—	—	$\frac{80}{80}$	4,0	0,96	1,2	$\frac{40}{40}$	—	—	$\frac{30}{35}$
1,5	0,36	0,450	$\frac{35}{40}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{45}{45}$	$\frac{70}{80}$	4,5	1,08	1,35	73	61	80	71
1,75	0,42	0,525	$\frac{35}{35}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{30}{45}$	$\frac{50}{50}$	5,0	1,2	1,5	$\frac{45}{59}$	—	—	$\frac{30}{73}$

Установка фрезы на глубину фрезерования и по высоте

Для установки фрезы на глубину фрезерования необходимо передвинуть суппортную стойку рукояткой 33 (рис. 52) так, чтобы фреза слегка касалась заготовки. Положение, при котором начинается касание фрезы и заготовки, фиксируется по нониусу шкалы

радиального перемещения или по лимбу подающего винта 34 (рис. 52). Затем фрезерный суппорт перемещают вверх или вниз (соответственно встречному или попутному фрезерованию) и производят радиальную подачу на заданную величину, принимая за начальную величину сделанный отсчет по шкале или лимбу.

Если нарезание колеса осуществляется в несколько проходов, величину второго перемещения фрезы в радиальном направлении определяют, замеряя размеры зуба колеса. При измерении зуба тангенциальным зубомером дополнительное смещение фрезы для получения нужной толщины зуба определяется непосредственно как разность между измеренной величиной и величиной по чертежу. При измерении толщины зуба кромочным зубомером величина смещения фрезы для окончательного прохода определяется из соотношения

$$\Delta h = \frac{\Delta s}{2 \operatorname{tg} \alpha_0}, \quad (45)$$

где Δs — разность между фактической величиной толщины зуба и его толщиной по чертежу;

α_0 — профильный угол инструмента.

При $\alpha = 20^\circ$ величина смещения $\Delta h = 1,37 \Delta s$.

При измерении длины общей нормали пересчет смещения делается по формуле

$$\Delta h = \frac{\Delta L}{2 \sin \alpha_0}, \quad (46)$$

где ΔL — разность между фактическим и чертежным размерами длины общей нормали.

Окончательная подача колонны станка с суппортом при нарезании колес высоких степеней точности может производиться с фиксацией по индикатору.

При нарезании зубчатых колес в один проход окончательная величина глубины врезания определяется по формулам (45) и (46), причем измерение толщины зуба производится при предварительном проходе, осуществляемом на длине, достаточной для проведения замера.

Положение фрезы относительно заготовки, обеспечивающее размер зуба в пределах заданных допусков, окончательно фиксируется по нониусу шкалы или лимбу. Эти показания используются при нарезании всех последующих зубчатых колес.

Перед пуском станка червячная фреза должна быть установлена по высоте так, чтобы она не касалась заготовки. В то же время увеличенные перебеги фрезы нежелательны, так как это повышает время фрезерования.

Примеры расчета наладки станка модели 5Е32

Пример 1. Нарезать прямоугольное цилиндрическое колесо за один проход. Дано: $m = 2,5$ мм, $z = 168$, материал 20Х, фреза правая.

По табл. 15 фреза с $m = 2,5$ мм имеет $d_f = 80$ мм и $\lambda = 1^\circ 59'$, $k = 1$.

Допустимая скорость резания для материала 20X при стойкости фрезы, равной 240 мин и чистоте поверхности зуба $\nabla 5$ равна $v_p \cdot k_p \cdot l = 38 \cdot 0,9 \cdot 1 = 34,2$ м/мин, а подача — 1,8 мм/об (табл. 33).

Находим скорость вращения фрезы:

$$n = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot d_f} = \frac{1000 \cdot 34,2}{3,14 \cdot 80} = 131,8 \text{ об/мин.}$$

Из табл. 29 выбираем ближайшее $n = 125$ об/мин и соответственно $\frac{A}{B} = \frac{30}{30}$ (то же получим и по графику рис. 62).

Подбор сменных колес гитары деления: так как $z > 161$, то берем $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$.

По формуле (40)

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{48 \cdot k}{z} = \frac{48 \cdot 1}{168} = \frac{6 \cdot 8}{24 \cdot 7} = \frac{30}{70} \cdot \frac{40}{60}.$$

Сменные колеса устанавливают на станке в соответствии с рис. 63. $e = 24$; $f = 48$; $a = 30$; $b = 70$; $c = 40$; $d = 60$.

Подбор сменных колес гитары подач. По формуле (40)

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} s_d = \frac{3}{10} \cdot 1,8 = \frac{3 \cdot 18}{10 \cdot 10} = \frac{30 \cdot 45}{100 \cdot 25};$$

$$a_1 = 30; \quad b_1 = 100; \quad c_1 = 45; \quad d_1 = 25.$$

Проверка правильности настройки гитары деления производится подсчетом числа рисок, образуемых на заготовке при подведении к ней вращающейся фрезы (рис. 64).

Пример 2. Нарезать косозубое цилиндрическое колесо за один проход. Дано: $m_n = 3$ мм; $z = 84$; $\beta_d = 30^\circ$, материал 40X; ход винтовой линии правый, червячная фреза правая однозаходная марки P18; наружный диаметр фрезы $d_f = 90$ мм; угол подъема фрезы $\lambda = 2^\circ 18'$.

Угол установки суппорта определяется из выражения $\gamma = \beta_d - \lambda = 30^\circ - 2^\circ 08' = 27^\circ 52'$.

Подбор сменных колес гитары скоростей: допустимая скорость резания для материала 40X при стойкости фрезы, равной 240 мин, и чистоте поверхности зуба $\nabla 6$ равна $v_p \cdot k_p \cdot l = 44 \cdot 1 \cdot 0,9 = 39,6$ м/мин, а подача $s_d = 1,5$ мм/об (табл. 33).

Находим число оборотов фрезы

$$n = \frac{1000 \cdot v_p}{3,14 \cdot d_f} = \frac{1000 \cdot 39,6}{3,14 \cdot 90} = 140 \text{ об/мин;}$$

ближайшее число в табл. 29 будет 153 об/мин и соответственно $\frac{A}{B} = \frac{33}{27}$ (то же и по графику рис. 62).

Действительная скорость резания

$$v_p' = \frac{\pi d_f n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot 153}{1000} = 43,4 \text{ м/мин.}$$

Подбор смены колес гитары деления: так как $z < 161$, то $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$ и, пользуясь формулой (39), находим

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24 \cdot k}{z} = \frac{24}{84} = \frac{6}{21} = \frac{3 \cdot 2}{7 \cdot 3} = \frac{30}{70} \cdot \frac{40}{60}.$$

Устанавливаем сменные колеса: $a = 30$; $b = 70$; $c = 40$; $d = 60$.

Подбор сменных колес гитары подачи: из формулы (41) определяем:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} s_s = \frac{3}{10} \cdot 1,5 = \frac{3}{10} \cdot \frac{3}{2} = \frac{30}{100} \cdot \frac{60}{40};$$

$$a_1 = 30; \quad b_1 = 100; \quad c_1 = 60; \quad d_1 = 40.$$

Установка сменных колес в соответствии с рис. 63.

Подбор сменных колес гитары дифференциала: из формулы (44) определяем

$$\begin{aligned} \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} &= \frac{7,95775 \cdot \sin \beta_d}{m_n \cdot k} = \frac{7,95775 \cdot \sin 30^\circ}{3 \cdot 1} = \\ &= \frac{7,95775 \cdot \frac{1}{2}}{3 \cdot 1} = \frac{7,95775}{6} = 1,32629 = \frac{50}{70} \cdot \frac{65}{35} \cdot [12]. \end{aligned}$$

$$\text{Глубина фрезерования } h = 2,25 \cdot 3 = 6,75 \text{ мм.}$$

Нарезание цилиндрического прямозубого колеса с простым числом зубьев

Число, которое делится на единицу и само на себя, называется простым числом. Зубчатое колесо с простым числом зубьев до 100 может быть нарезано с имеющимся комплектом сменных колес, а колеса с числом зубьев свыше 100, например 101, 103, 107, 109, 113 и т. д., могут быть нарезаны только с включением дифференциала.

Для этого сменные колеса гитары деления настраивают на число $z \pm c$, где c — меньше единицы. В этом случае зуб получится косой, а для получения прямого зуба влияние дополнительного слагаемого c устраняют соответствующей настройкой гитары дифференциала. Если число c берется со знаком $+$ (плюс) при настройке гитары деления, то при настройке гитары дифференциала оно берется со знаком $-$ (минус); в случае полутного нарезания на гитаре дифференциала устанавливается паразитное колесо.

Настройка делительной гитары производится по формуле

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24k}{z \pm c} \text{ при } e = f = 36,$$

настройка гитары дифференциала по формуле

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \pm \frac{25c}{s_s k}$$

и для вертикальной подачи по формуле

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{3}{10} s_s.$$

Пример 1. Нарезать прямозубое колесо из стали 45. Дано: $z = 127$, $s_s = 2$ мм/об.

Все расчеты в данном случае производятся так же, как в приведенных примерах, кроме расчетов настройки гитар деления, подачи и дифференциала. Примем $c = \frac{1}{17}$.

Подбор сменных колес гитары деления:

$$\begin{aligned} \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} &= \frac{24 \cdot k}{z-c} = \frac{24 \cdot 1}{127 - \frac{1}{17}} = \\ &= \frac{24 \cdot 17}{2159 - 1} = \frac{24 \cdot 17}{2158} = \frac{24 \cdot 17}{83 \cdot 26} = \frac{30 \cdot 34}{83 \cdot 65}; \end{aligned} \quad [20]$$

$$a = 30; \quad b = 83; \quad c = 34; \quad d = 65.$$

Подбор сменных колес гитары подачи:

$$\begin{aligned} \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} &= \frac{3}{10} \cdot 2 = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \frac{75}{50} \cdot \frac{24}{60}; \\ a_1 &= 75; \quad b_1 = 50; \quad c_1 = 24; \quad d_1 = 60. \end{aligned}$$

Подбор сменных колес гитары дифференциала:

$$\begin{aligned} \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} &= + \frac{25c}{s_{gk}} = \frac{25 \cdot \frac{1}{17}}{2 \cdot 1} = \frac{25}{17 \cdot 2} = \frac{5}{17} \cdot \frac{5}{2} = \frac{25}{85} \cdot \frac{100}{40}; \\ a_2 &= 25; \quad b_2 = 85; \quad c_2 = 100; \quad d_2 = 40. \end{aligned}$$

Знак плюс показывает, что добавочное вращение совпадает с основным.

В комплектах сменных колес имеется по одному колесу каждого размера (за небольшим исключением), поэтому при расчете делительной гитары, а также гитар подачи и дифференциала каждая шестерня должна учитываться один раз.

Наладка станка 5Е32 для нарезания червячных колес

Нарезание червячных колес производится двумя способами: радиальной и тангенциальной подачами при помощи протяжного суппорта. Гитары скоростей и деления настраиваются так же, как и при настройке цилиндрических колес. Дифференциал при радиальной подаче отключается. Режимы резания устанавливаются в соответствии с табл. 35.

Способ радиальной подачи. Установка заготовки производится так же, как и при обработке прямозубых колес. Червячная фреза должна иметь такие же модуль, угол подъема витков и начальный диаметр, как червяк, сопряженный с нарезаемым колесом. Для получения радиального зазора наружный диаметр фрезы делается больше диаметра червяка на величину двойного радиального зазора.

Червячную фрезу устанавливают горизонтально и с определенной точностью по высоте, измерив расстояние от центра оправки до опорной поверхности базового торца детали.

Установка расстояния между осями фрезы и нарезаемого червячного колеса производится согласно схемам на рис. 66. Межосевое расстояние фиксируется на упорном мостике (рис. 54).

Режимы резания при нарезании червячных колес

Модуль в мм	Диаметр фрезы в мм	Подача в мм/об		Скорость резания в м/мин
		радиальная	тангенциальная	
3	70	0,6	1,4—1,6	27
4	80	0,55	1,3—1,5	25
5	90	0,5	1,2—1,4	23
6	125	0,5	1,2—1,3	23
8	145	0,45	1,1—1,2	23

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала									
Материал	Серый чугун					Бронза			
Твердость <i>HВ</i>	140—160	160—180	180—200	200—220	80	100	120	140	
Коэффициенты	1,25	1,12	1,0	0,9	1,2	1,1	1,0	0,9	

Примечание. Червячная фреза из стали Р18. Обрабатываемый материал: чугун твердостью *HВ* 180—200, бронза — *HВ* 120.

Точность настройки зубофрезерного станка по высоте оси фрезы и на межосевое расстояние регламентируется ГОСТом 3675—56 в зависимости от степени точности передачи.

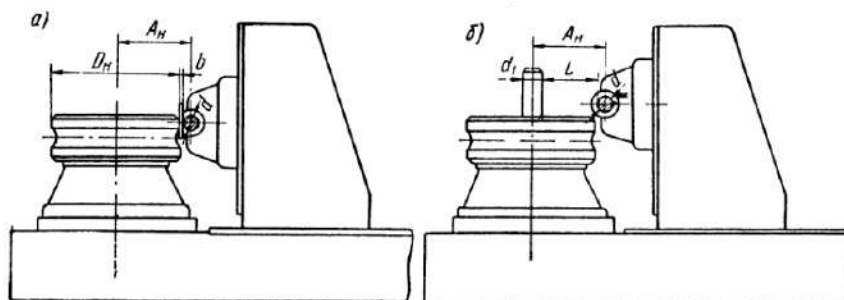


Рис. 66. Схемы настройки зубофрезерного станка на межосевое расстояние при нарезании червячных колес: схема а — $A_n = 0,5D_n + b + 0,5d$ (вариант возможен при условии $\frac{D_n + d}{2} \leq A_n$); схема б — $A_n = L + 0,5(d + d_1)$

Пример 1. Нарезать из бронзы (*HВ*100) червячное колесо. Дано: $z = 62$; $m = 4$ мм. Сопряженный червяк однозаходный.

Так как червяк однозаходный, применяем способ радиальной подачи. Режим устанавливаем по табл. 35. Скорость резания $v_p = 25$ м/мин, подача $s_0 = 0,55$ мм/об.

Пример 2. Подбор сменных колес гитары скоростей: скорость вращения фрезы определяем из формулы

$$n = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi d_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 80} \approx 100 \text{ об/мин};$$

ближайшее по графику число 102 об/мин и сменные колеса $\frac{A}{B} = \frac{27}{33}$; $A = 27$; $B = 33$.

Подбор сменных колес гитары деления:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24 \cdot k}{z} = \frac{24 \cdot 1}{62} = \frac{24}{62}; \quad a = 24; \quad d = 62.$$

Подбор сменных колес гитары подачи:

$$\begin{aligned} \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} &= \frac{5}{4} \cdot s_p = \frac{5}{4} \cdot 0,55 = \frac{5 \cdot 55}{4 \cdot 100} = \frac{25 \cdot 11}{8 \cdot 50} = \\ &= \frac{25}{50} \cdot \frac{55}{40}; \quad a_1 = 25; \quad b_1 = 50; \quad c_1 = 55; \quad d_1 = 40. \end{aligned}$$

Глубина впадины червячного колеса $h = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 4 = 9 \text{ мм}$.

Способ тангенциальной подачи. При этом способе фрезерования обычный суппорт заменяется протяжным для перемещения фрезы вдоль своей оси. Установленная по межосевому расстоянию (при одном проходе) фреза находится в исходном положении, сбоку от заготовки. Вращаясь, она перемещается вдоль своей оси. Врезание происходит заборным конусом, а чистовая обработка — цилиндрической частью фрезы.

Заготовка, помимо своего основного движения, должна получить дополнительное вращательное движение, связанное с продольным осевым перемещением фрезы.

Стол с заготовкой получает дополнительное вращательное движение через механизм дифференциала путем соответствующей настройки гитары. Гитары скоростей и деления настраиваются так же, как и для цилиндрических колес.

Настройка гитары подачи производится по формуле

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = s_o,$$

а гитары дифференциала по формуле

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{2,387324}{mk}. \quad (47)$$

Пример 30. Нарезать червячное колесо из чугуна ($HВ$ 160—180). Дано: $z = 71$; $m = 4,5 \text{ мм}$, число заходов сопряженного червяка $k = 3$.

Учитывая многозаходность червяка ($k = 3$), нарезание производим тангенциальным способом. Заменяем обычный суппорт протяжным. Режим резания: $v_p = 23 \cdot 1,12 = 25,8 \text{ м/мин}$, подача $s_T = 1,2 \text{ мм/об}$.

Устанавливаем расстояние между осью фрезы и осью нарезаемого червячного колеса и фиксируем на упорном мостике, затем устанавливаем фрезу в исходное положение.

Таблица 36

Технические характеристики зубофрезерных станков

Модель станка	Размеры обрабатываемого колеса				Диаметр фрезы в мм	Число оборотов фрезы в минуту	Подача в мм за один оборот заготовки		Мощность главного привода в кВт	Габариты станка в плане в мм	Вес в т
	Мо-дуль в мм	(диаметры)		вертикаль-ная			тангенциальная				
		с прямым зубом	с косым зубом								
Вертикальные с подвижным столом											
5A301	1,25	125	60	45	93—527	0,2—2,0	0,1—0,37	—	0,6	1,055×0,93	0,75
5310	3	200	70	80	63—318	0,25—4,0	0,1—1,0	—	1,7	1,562×0,925	1,55
532	5	750	190	120	44—114	0,22—4,0	0,094—1,68	—	2,5	2,32×1,075	2,0
5E32	5	750	190	120	58—150	0,25—4,0	0,105—1,68	—	3,2	1,885×1,158	2,5
5K324	8	500	150	180	63—310	0,8—5,0	0,35—2,2	0,26—1,6	7,0	2,655×1,45	7,2
5K32П ¹	8	800	—	—	50—315	0,8—5,0	0,14—0,84	—	7,0	2,65×1,45	7,2
Вертикальные с подвижной колонкой											
5Л32	6	800	190	120	47,5—192	0,25—4,0	0,06—0,72	0,075—0,9	3,8	2,4×1,2	3,8
5312	6	320	—	160	105—600	—	—	—	7,0	1,7×1,0	4,3
5E32	8	800	190	125	50—310	0,8—5,0	0,35—2,2	0,26—1,6	4,5	2,39×1,34	4,0
5327	10	750/1000	550	200	37—157	0,5—3,0	0,1—1,0	0,2—1,5	7,0	3,195×1,605	8,7
5A326	12	750	—	200	37—157	0,5—4,0	—	—	5,8	3,195×1,605	7,3
Прецизионные											
5П310	3	200	—	80	120×630	0,25—3,0	—	—	1,7	1,562—0,925	1,57
5П324	6	500	—	140	50—250	0,5—4,0	—	—	2,8	2,5×1,25	2,9
5308A ²	1	80	—	—	63—400	(0,0003—0,08) z	(0,014—0,00035) z	(0,02—0,0005) z	1,7	5,75×2,68	2,45
5310A ²	1,5	200	—	—	40—250	—	—	—	2,2	1,09×0,65	4,8
5332	10	1500	—	270	16—100	0,3—6,0	—	—	15,0	5,75×2,68	25,0
Горизонтальные											
5У34	5	300	—	100	62—201	0,32—4,0	—	—	3,0	2,23×0,975	4,0
5A341	5	300	75	100	62—201	0,32—4,0	—	—	3,5	2,21×1,26	2,95
Станки для обработки червячных колес											
ЕЗ-30	5	320	—	—	37,5—95	—	—	—	1,0	1,77×1,24	2,9
Примечание. z — число нарезаемых зубьев.											
¹ Станки повышенной точности.											
² Станки особо повышенной точности.											

Примечание. z — число нарезаемых зубьев.

¹ Станки повышенной точности.² Станки особо повышенной точности.

Подбор сменных колес гитары скоростей: скорость вращения шпинделя (фрезы) определяем по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi d_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 25,8}{3,14 \cdot 90} = 91,5 \text{ об/мин},$$

ближайшее значение скорости вращения фрезы по графику (рис. 62) равно 102 об/мин, которому соответствуют сменные колеса $A = 27$, $B = 33$.

Подбор сменных колес гитары деления:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24 \cdot k}{z} = \frac{24 \cdot 3}{71} = \frac{4 \cdot 18}{1 \cdot 71} = \frac{4 \cdot 90}{5 \cdot 71} = \frac{60}{75} \cdot \frac{90}{71};$$

$$a = 60; \quad b = 75; \quad c = 90; \quad d = 71.$$

Подбор сменных колес гитары подачи:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = s_T = 1,2 = \frac{12}{10} = \frac{3,4}{2,5} = \frac{45}{30} \cdot \frac{60}{75};$$

$$a_1 = 45; \quad b_1 = 30; \quad c_1 = 60; \quad d_1 = 75.$$

Подбор сменных колес гитары дифференциала:

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{2,387324}{mk} = \frac{2,387324}{4,5 \cdot 3} = 0,176839 = \frac{84}{475}; \quad [12]$$

$$\frac{84}{475} = \frac{6 \cdot 14}{25 \cdot 19} = \frac{24}{100} \cdot \frac{70}{95}; \quad a_2 = 24; \quad b_2 = 100; \quad c_2 = 70; \quad d_2 = 95.$$

В табл. 36 приведены основные данные технических характеристик зубофрезерных станков.

26. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

Зубодолбежные станки подразделяются на вертикальные и горизонтальные, причем последние часто работают двумя долбяками и предназначены для нарезания шевронных колес больших габаритов.

Вертикальные станки образуют две группы:

а) станки, у которых радиальное врезание осуществляется перемещением суппорта с долбяком, а при холостом ходе заготовка отводится от долбяка (модели 512, 5A12, 5B12, 514, 516 и др.);

б) станки, у которых радиальное врезание осуществляется перемещением стола, а при холостом ходе долбяк отводится от заготовки колеса (модели 5150, 5A150, 5161 и др.).

Принцип работы

Работа зубодолбежных станков основана на принципе воспроизведения зацепления двух зубчатых колес, при этом одно из колес (долбяк) является режущим инструментом, которому кроме обкаточного вращения сообщается возвратно-поступательное движение параллельно оси заготовки. Нарезаемое колесо и колесо-

долбяк имеют одинаковые модули и, находясь в зацеплении, вращаются со скоростью, обратно пропорциональной числу их зубьев

$$\frac{n_3}{n_d} = \frac{z_d}{z_3} \quad (48)$$

Для соблюдения такого вращения заготовка и долбяк соединяются кинематической цепью, передаточное отношение которой определяется из соотношения

$$i_{см} = \frac{z_d}{z_3}, \quad (49)$$

где z_d — число зубьев долбяка;
 z_3 — число зубьев нарезаемого колеса.

На рис. 67 изображена принципиальная схема зубодолбежного станка. Долбяк, закрепленный на шпинделе, во время работы получает вращение n_1 , а для осуществления процесса резания — одновременно возвратно-поступательное движение (v_p — рабочее и v_x — холостое), параллельное оси заготовки.

Суппорт 1 перемещается по направляющим 2 станины, осуществляя радиальную подачу s_p до достижения полной глубины впадины колеса (врезания). С этого момента радиальная подача прекращается и начинается нарезание зубьев. В случае нарезания в два — три прохода после каждого преды-

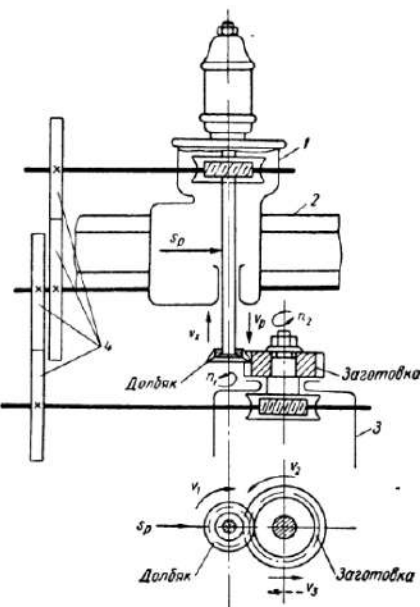


Рис. 67. Принципиальная схема зубодолбежного станка:

1 — суппорт; 2 — верхняя станина; 3 — стол; 4 — сменные колеса

дущего прохода суппорт получает дополнительное перемещение к центру колеса, при этом каждый проход рассчитан на полный оборот колеса.

В процессе нарезания вращение колеса (n_2) и долбяка (n_1) происходит непрерывно как во время рабочих (v_p), так и холостых (v_x) ходов долбяка. Во избежание повреждений колеса во время холостого хода стол 3 с заготовкой отводится от долбяка на 0,4—0,5 мм, а к началу рабочего хода вновь возвращается в исходное положение (v_3).

Для выполнения основных движений станок имеет:

- а) гитару скоростей для настройки двойных ходов долбяка;
- б) гитару деления для согласования вращения долбяка и заготовки;

Технические характеристики зубодолбежных станков

Показатели	Модели станков							
	512	5A12	5B12	514	516	5B150	5B161	E3-15
Наибольший нарезаемый модуль в мм	4	4	4	6	6	12	12	12
Наибольший диаметр нарезаемых колес в мм	140	210	220	500	460	800	1250	2280
Максимальная ширина венца колеса в мм	50	50	50	105	125	170	170	170
Число зубьев обрабатываемого колеса	—	—	10—214	10—180	10—180	10—292	10—292	До 800
Угол наклона зубьев в град	—	—	30	23	30	23	23	23
Расстояние между осями шпинделя и стола в мм	—	0—145	0—150	0—350	0—380	0—800	100—730	600—1200
Максимальный диаметр долбяка в мм	75	75	75	75	100	200	200	200
Максимальная длина хода в мм	55	55	55	125	150	200	200	200
Диаметр стола в мм	140	140	140	240	145	800	1010	1900
Число двойных ходов шпинделя в минуту	250—500	300—600	200—600	125—359	132—375	25—150	25—150	25—150
Круговая подача долбяка ($d_d = 100$ мм) в мм/об. ход	0,1—0,38	0,1—0,38	0,1—0,46 ($d_d = 75$ мм)	0,17—0,44	0,2—0,44	0,3—1,5	0,3—1,5	0,3—1,5
Радиальная подача в мм/об. ход	—	—	Сменный кулак 1,7	0,024—0,095	—	0,015—0,22	0,015—0,22	0,03—0,2
Мощность главного привода в кВт	1,3	1,65	1,32×0,94	2,8	3	7	7	7
Габариты станка в плане в м	1,17×1,12	1,12×1,03	1,32×0,94	1,76×1,27	1,6×1,48	3,05×1,8	3,5×1,85	—
Вес станка в т	1,65	1,65	1,94	3,55	2,65	10,2	10,4	—

в) гитару круговых подач, определяющую длину дуги начальной окружности долбяка, на которую повернется его зуб за один двойной ход ($s_{кр}$ в мм/дв. ход);

г) механизм радиальной подачи на глубину врезания;

д) механизм отвода стола с заготовкой во время холостого хода долбяка.

В табл. 37 приводятся технические характеристики некоторых зубодолбежных станков. Они имеют весьма разнообразное назначение: на них можно нарезать цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями наружного и внутреннего зацепления, короткие шлицевые валики, звездочки для цепных передач, храповые колеса, червяки, зубчатые муфты, колеса с торцовыми зубьями и др.

Некоторые виды зубчатых колес (например, ступенчатые блоки, зубчатые венцы с близко примыкающими буртиками, колеса с внутренними зубьями небольшого диаметра) в основном нарезаются на зубодолбежных станках. На них также можно нарезать колеса для прерывистого вращения с помощью специального долбяка и зубчатые сектора.

Для нарезания косозубых колес требуется долбяк с таким же углом наклона, как у колеса, но разноименного направления. При этом долбяк получает дополнительно вращательное движение, обусловленное углом наклона зубьев. Это движение обеспечивается парой винтовых направляющих (рис. 68). Одну из них прикрепляют к шпинделю долбяка, а другую закрепляют в отверстии червячного колеса, сообщающего долбяку вращательное движение круговой подачи.

В условиях массового производства прямозубых колес наружного зацепления средних модулей при получистовом и черновом нарезании используются высокопроизводительные станки моделей 5110 и 5120, на которых все зубья колеса нарезаются одновременно.

Зубодолбежный станок модели 514 и его кинематическая схема

Зубодолбежный станок модели 514 состоит из следующих основных узлов (рис. 69): нижней станины 1, верхней станины 5, суппорта 13, стола 2, коробки скоростей 7, автомата 15, коробки круговых подач 12, панелей 6 и 14.

Нижняя станина является основанием станка; в ней размещены гитара деления (под крышкой 20), электродвигатель Э2, ременная передача быстрого вращения заготовки (под крышкой 19), червячная передача (1 : 240), вращающая шпиндель стола, на котором устанавливаются заготовка нарезаемого колеса, кулачки и тяги счетного механизма, механизма подвода и отвода стола. Под крышкой 21 расположены электрооборудование и электронасос для подачи охлаждающей жидкости, а на крышке 21 — линейный выключатель 22.

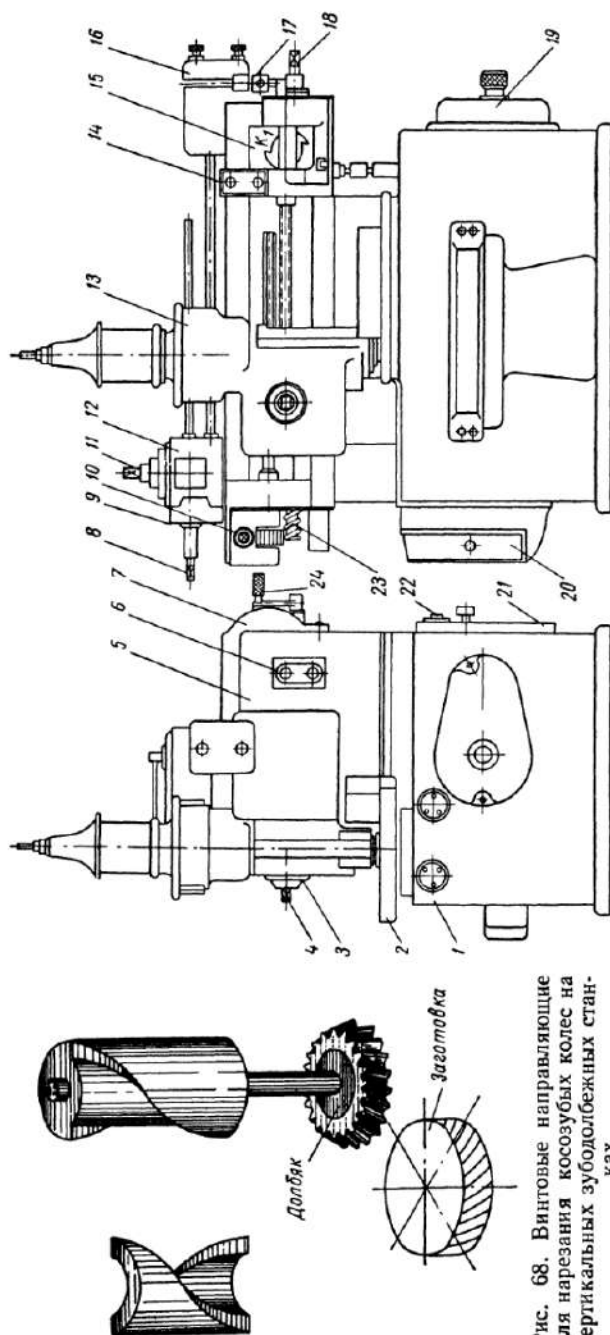


Рис. 68. Винтовые направляющие для нарезания косозубых колес на вертикальных зубодолбежных станках

Рис. 69. Общий вид зубодолбежного станка модели 514

Верхняя станина крепится к нижней и имеет направляющие для суппорта 13. В ней находятся главный электродвигатель Э1, коробка скоростей 7, коробка круговых подач 12 с наружной крышкой 9, автомат 15 (аппарат автоматического управления станком), коробка 16, закрывающая гитару радиальных подач, шатунный механизм 10, сообщающий штосселю возвратно-поступательное движение, съемная рукоятка на квадрате 18, служащая для ускоренного подвода суппорта вручную, и рукоятка 17. Поворачивая рукоятку 17 вправо, начинают цикл обработки каждого колеса. Пружина 23 оттягивает винт с роликом влево, прижимая последний (ролик) к кулачку K_1 (см. ниже описание работы механизма автоматического цикла 15).

Для отвода перед началом обратного хода долбяка и подвода его перед началом рабочего хода столу сообщается возвратно-поступательное движение.

Суппорт, несущий шпindel долбяка, перемещается по направляющим верхней станины в радиальном направлении. В нем расположены червячная передача, вращающая верхнюю втулку, и шпindel. Нижняя стальная втулка перемещается вверх и вниз от реечной шестерни (рис. 70), сообщая одновременно движение штосселю вверх и вниз.

Перемещение суппорта по направляющим верхней станины производится вручную вращением съемной рукояткой квадратной головки 4 (см. рис. 69). Отсчет величины перемещения осуществляется по лимбу 3.

Коробка скоростей предназначается для установления числа двойных ходов (в минуту) штосселя. Переключение производится двумя заблокированными между собой рукоятками 24.

Автомат 15 предназначен для перемещения в радиальном направлении суппорта 13 и осуществления цикла обработки каждой заготовки с выключением станка; устройство автомата см. ниже (рис. 71).

Коробка круговых подач 12 осуществляет через червячную передачу вращение шпинделя и сидящего на нем долбяка, а также реверсирование шпинделей долбяка и стола. Изменение направления вращения производится съемной рукояткой 11, при этом в среднем положении рукоятки движения выключены. Вращение штосселя вручную производится с помощью квадрата 8. Под крышкой 9 находятся сменные колеса гитары круговых подач.

Панель 6 предназначена для пуска и остановки станка, панель 14 — для пуска и остановки быстрого вращения стола.

Станок модели 514 осуществляет следующие движения:

а) движение резания (главное) — возвратно-поступательное движение штосселя (шпинделя) с долбяком;

б) движение подач — вращение долбяка относительно его оси (круговая подача) и радиальное перемещение шпиндельной головки в период врезания (радиальная подача);

в) движение деления — согласованное движение шпинделя и долбяка, стола и заготовки;

г) вспомогательные движения — отвод стола с заготовкой от долбяка в момент его обратного хода, быстрое вращение стола с заготовкой для проверки ее установки, движение счетного механизма для автоматического выключения станка.

Движение резания. Движением резания является возвратно-поступательное движение долбяка. Вращение от электродвигателя Э1 мощностью 2,2 квт ($n = 1420$ об/мин) передается через клиноременную передачу 100—280 валу I коробки скоростей (рис. 70). На валу I расположены два двойных подвижных блока 22—37 и 29—46, благодаря которым вал II может получить четыре различных скорости вращения (в дв. ход/мин) по следующей цепи:

$$n = 1420 \cdot \frac{100}{280} \cdot 0,985 \left\{ \begin{array}{l} 22/88 = n_1 = 125 \\ 29/81 = n_2 = 178 \\ 37/73 = n_3 = 253 \\ 46/64 = n_4 = 359 \end{array} \right.$$

На левом конце вала II закреплен кривошипный диск с радиальным пазом, в котором установлен подвижной кривошипный палец XXI, связанный шатуном XX с рейкой, находящейся в зацеплении с шестерней 26, сидящей на валу III. При вращении вала II этот кривошипно-шатунный механизм сообщает возвратно-поступательное движение валу III, которое с помощью такой же шестерни 26, сидящей на другом конце вала III и сцепленной с рейкой ($m = 3,25$ мм), закрепленной на гильзе штосселя, преобразуется в возвратно-поступательное движение долбяка.

Движение подачи. Вращение от вала II цепной передачей 28—28 передается валу V, и дальше кинематическая цепь подач разветвляется на круговую и радиальную.

Круговая подача измеряется длиной дуги делительной окружности долбяка (в мм), на которую поворачивается долбяк за один двойной ход. Движение подачи сообщается от вала V через червячную передачу 3—23, вал VI, конический реверс 28—42, вал VII, сменные колеса A и B гитары круговых подач, вал VIII, червячную передачу 1 : 100.

Так как двойной ход долбяка происходит за каждый оборот вала II, то кинематическая цепь круговых подач должна иметь такое передаточное отношение, которое обеспечит за каждый оборот вала II поворот долбяка по дуге начальной окружности на принятую величину круговой подачи.

$s_{кр}$ может быть определена из выражения

$$s_{кр} = 1 \frac{28}{28} \cdot \frac{3}{23} \cdot \frac{28}{42} M_1 \frac{A}{B} \cdot \frac{1}{100} \pi m z_{\partial} \text{ мм/дв. ход},$$

$$\text{откуда } \frac{A}{B} = \frac{336 \cdot s_{кр}}{\pi m z_{\partial}}.$$

При использовании стандартизованного долбяка $d_d = m z_d = 100$ мм формула принимает вид

$$\frac{A}{B} = 3,66 s_{кр}. \quad (50)$$

При нарезании зубчатых колес долбяком любого другого диаметра (d_c) формула примет окончательный вид:

$$\frac{A}{B} = 3,66 \frac{d_{1\text{ж}}}{d_c} \cdot s_{кр}. \quad (51)$$

К станку прилагаются три пары сменных колес, что позволяет установить одну из шести круговых подач долбяка (табл. 38). Так как расстояние между осями сменных колес неизменно, требуется, чтобы сумма их зубьев всегда была равна 89, т. е. $A + B = 89$.

Т а б л и ц а 38

Набор сменных колес, круговые подачи и число двойных ходов долбяка за один его оборот при $d_d = 100$ мм

Число зубьев колеса A	55	50	47	42	39	34
Число зубьев колеса B	34	39	42	47	50	55
Круговые подачи в мм/дв. ход	0,44	0,35	0,30	0,24	0,21	0,17
Число двойных ходов долбяка за один его оборот	729	897	1028	1287	1475	1860

Радиальная подача долбяка осуществляется перемещением суппорта. Перемещение производится винтом $XVIII$, входящим в гайку 30 , закрепленную в суппорте. На правом конце винта $XVIII$ укреплен ролик P , прижимаемый пружиной 23 (рис. 69) к профильному кулачку K_1 . Вращение от вала V через сменные колеса гитары радиальных подач $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1}$ передается на вал XIV , через конические колеса $24-48$ валу XV и червячной передаче $1:40$, через муфту M_2 червячной передаче $2:40$, валу $XVII$ и кулачку радиальной подачи K_1 . Через ролик P , катящийся по кулачку, движение передается винту $XVIII$, а с ним суппорту, несущему шпindel IV с долбяком.

Величина радиальной подачи определяется из кинематической цепи

$$s_p = 1 \frac{28}{28} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{24}{28} \cdot \frac{1}{40} (M_2) \frac{2}{40} H \text{ мм/дв. ход},$$

где H — шаг подъема архимедовой спирали кулачка в мм.

Передаточное отношение гитары радиальных подач

$$i_{см} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{1600}{H} s_p. \quad (52)$$

Станок модели 514 снабжен сменными колесами, осуществляющими следующие радиальные подачи:

Число зубьев колес		Радиальная подача s_p
a_1	d_1	в мм/дв. ход
50	50	0,024
40	40	0,048
50	25	0,096

Указанные радиальные подачи выбираются в зависимости от модуля и твердости материала нарезаемого колеса.

Ручное радиальное перемещение долбяка производится съемной рукояткой квадратной головки 4. За каждый оборот головки гайка 30 перемещается по винту XVIII на $1 \cdot \frac{15}{30} \cdot 6 = 3$ мм (шаг винта $t = 6$ мм). Цена каждого деления лимба 3 равна 0,02 мм.

Движение деления от вала VIII и дальше через конические шестерни 30—30, вал IX, конические шестерни 30—30, вал X, сменные колеса гитары деления $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$, вал XI, червячную передачу 1—240 сообщается столу с заготовкой. Для согласованности движения долбяка и заготовки необходимо, чтобы в то время как долбяк поворачивается на $\frac{1}{z_d}$ оборота, заготовка тоже поворачивалась на $\frac{1}{z_g}$ оборота.

Кинематическая цепь, связывающая вращение долбяка и вращение стола с заготовкой (от штосселя до шпинделя стола) имеет вид

$$\frac{1}{z_d} \cdot \frac{100}{1} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{1}{240} = \frac{1}{z_g} \text{ оборота заготовки.}$$

Отсюда

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = 2,4 \frac{z_d}{z_g}. \quad (53)$$

К станку для гитары деления прилагаются 36 сменных шестерен: 20; 23; 24; 25; 26; 30; 33; 34; 35; 37; 38; 40; 41; 43; 45; 47; 48; 50; 55; 58; 60; 62; 65; 70; 74; 80 (2 шт.); 85; 90; 92; 95; 96; 97; 98; 100; 120.

Рекомендуется число зубьев сменной шестерни брать равным z_d или $2z_d$.

Вспомогательные движения

Для проверки отсутствия биения на шпинделе XII, приспособлении и заготовке включается быстрое установочное вращение стола. Для этого необходимо разъединить сменные колеса гитары деления и включить кнопку «Пуск» на панели 14 (рис. 69) электродвигателя Э2 ($N = 0,5$ квт, $n = 1140$ об/мин).

Отвод и подвод стола происходят за каждый оборот вала *II* (см. рис. 70), который одновременно сообщает двойной ход долбяку. На правом конце вала *II* закреплен эксцентриковый кулачок *K₃*, по которому катятся два ролика, помещенные в рамке, соединенной с тягой *XXIII*. При вращении кулачка ролики то поднимаются, то опускаются, а тяга *XXIII* качает рычаг, сидящий вместе с диском на валу *XIII*. Палец диска с помощью тяги *XXIV* отводит стол с заготовкой перед началом обратного хода

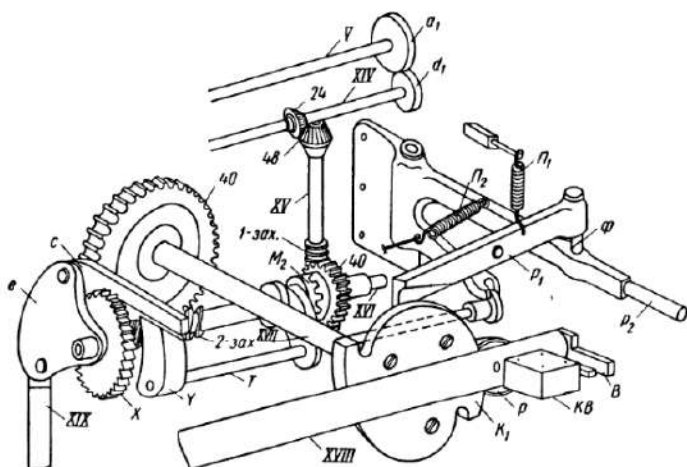


Рис. 71. Схема механизма — автомата зубодолбежного станка модели 514

долбяка и подводит его вновь к началу рабочего хода. Это предохраняет от истирания задней грани долбяка при холостом ходе.

Механизм осуществления автоматического цикла. Назначение этого механизма состоит в том, что он управляет механизмом врезания зубьев долбяка в тело нарезаемого колеса; по достижении требуемой глубины врезания автоматически выключается радиальная подача и включается счетное устройство, контролирующее число полных оборотов шпинделя. Кроме того, механизм после установленного числа оборотов стола автоматически отводит долбяк от заготовки и выключает станок.

Кулачок *K₁* в процессе нарезания зубьев перемещает вправо ролик *P* (рис. 71), соединенный с ним винт *XVIII* и суппорт *IЗ* (см. рис. 69) и устанавливает долбяк последовательно в соответствующие для нарезания положения. Вращение кулачка *K₁* производится от двух механизмов: механизма радиальной подачи и счетного механизма.

Действие механизма радиальной подачи идет по следующей цепи: от вала V через сменные колеса a_1 и d_1 гитары радиальных подач, вал XIV , конические колеса $24-48$, вал XV , червячную передачу $1:40$, причем вращение сообщается свободно сидящему на валу XVI червячному колесу с кулачками на торце для сцепления с муфтой M_2 . При включении муфты M_2 вал XVI начинает вращаться и передает через червячную пару $2:40$ вращение кулачку K_1 , к поверхности которого пружиной 23 (рис. 69) прижимается ролик P , соединенный с винтом $XVIII$ (рис. 71).

Включение механизма производится поворотом рычага P_2 вправо и рычаг закрепляется фиксатором Φ . Во время поворота рычага P_2 его вилка через тягу T включит муфту M_2 (сцепив червячное колесо 40 с валом XVI). Одновременно тяга T сместит упор V , который приподнимает собачку C , расцепив ее с храповым колесом X .

Левый конец рычага P_1 под действием пружины Π_1 будет опираться на выступ кулачка K_1 , расположенный на задней его стороне. При своем вращении кулачок K_1 отодвигает вправо ролик P и соединенный с ним винт $XVIII$, и, таким образом, происходит врезание долбяка в заготовку. До начала врезания долбяк быстро подводится вручную рукояткой 4 (рис. 69) в соприкосновение с поверхностью заготовки. В момент окончания врезания левый конец фиксаторного рычага P_1 (рис. 71) соскальзывает с выступа на обратной стороне кулачка K_1 , а пружина Π_1 поднимает правый его конец с фиксатором и рычаг P_1 освобождается. Последний под действием пружины Π_2 повернется влево и тягой T выключит муфту M_2 , отведет упор V , освободив при этом собачку C , которая под влиянием собственного веса опустится и сцепится с храповиком X .

Кулачок K_1 теперь уже будет приводиться в движение валом XI , на котором сидит червяк, вращающий стол XII с заготовкой. На этом же валу (см. рис. 70) эксцентрично насажен кулачок K_2 , сообщающий качательное движение через тягу XIX сектору e (рис. 71) с укрепленной на нем собачкой C . При этом за каждый двойной ход собачка захватывает один зуб храпового колеса X . Ролик P в это время будет катиться по цилиндрической части кулачка K_1 и поэтому радиальной подачи не будет.

С момента окончания врезания долбяка на полную высоту зуба начинается процесс обработки заготовки колеса, который продолжается в течение одного оборота стола с заготовкой. Когда цикл обработки закончится, ролик P попадет во впадину кулачка K_1 . Винт $XVIII$ вместе с суппортом 13 (рис. 69) под действием пружины 23 отойдет влево, выведя долбяк из зацепления с нарезанным колесом. Одновременно упор B (рис. 71) нажмет на кнопочный выключатель KB и остановит станок.

Наладка станка модели 514

Наладка станка состоит из следующих основных операций: установки и закрепления долбяка в шпинделе, установки и проверки оправки и заготовки; установки числа двойных ходов долбяка, длины хода долбяка, предельных положений долбяка; выбора кулачка радиальной подачи и установки долбяка на глубину врезания; настройки гитары деления, гитары круговых подач, гитары радиальной подачи, настройки для получения заданной толщины зуба.

Установка и закрепление долбяка в шпинделе. Перед установкой в шпиндель тщательно протирают отверстие и опорные поверхности долбяка. Так же поступают со шпинделем.

В случае прокладки между долбяком и шпинделем опорных колец последние рекомендуется брать большего диаметра, чтобы упор был ближе к режущим кромкам, что обеспечивает устойчивость долбяка в работе.

Посадочные поверхности шпинделя под долбяк следует периодически проверять и они должны соответствовать нормам технологической точности, приведенным в табл. 39. Долбяк после заточки проходит контроль по геометрии зуба и посадочных поверхностей, поэтому выверки долбяка при установке на станок не требуется.

Таблица 39

Допустимые отклонения в установке оправки на зубодолбежном станке

Степень точности колеса	Допустимое радиальное биение (в мкм) при диаметре колеса в мм						
	До 50	50—80	80—120	120—200	200—320	320—500	500—800
7	8	10	10	13	17	23	32
8	12	15	15	18	20	25	40
9	15	20	25	30	35	40	50
10—11	25	30	35	40	50	60	70
Ширина зубчатого венца в мм	Допустимая непараллельность (в мкм) оси оправки направлению движения шпинделя на 100 мм длины при степени точности						
	7	8	9	10—11			
До 20	20	25	30	40			
20—40	15	20	25	30			
40—70	10	15	20	25			
70—120	7	10	11	14			

Установка и проверка оправки и заготовки. Оправка для заготовки имеет обратный конус и вставляется в шпindelь стола снизу, что позволяет при затягивании зажимной гайки прижимать заготовку к плоскости стола (рис. 72). Затем индикатором проверяется радиальное биение оправки, параллельность ее оси направлению перемещения шпинделя долбяка сверху вниз и обратно; проверка производится в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В табл. 39 приведены величины допустимых отклонений. Торцы заготовки, подставки зажимной шайбы и гайки должны быть чистыми и не иметь забоин.

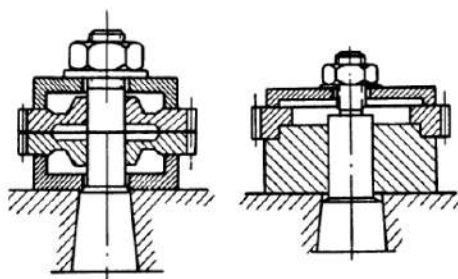


Рис. 72. Пример крепления заготовки на зубодолбежных станках

Установка числа двойных ходов долбяка. Число двойных ходов долбяка устанавливается в зависимости от принятой скорости резания и длины хода долбяка и определяется по формуле

$$n = \frac{100v}{2L} = \frac{500v}{L}, \quad (54)$$

где v — скорость резания в м/мин;

L — длина хода долбяка в мм;

n — число двойных ходов в минуту.

Скорость резания выбирается из табл. 40, исходя из модуля и материала колеса. Расчетное число двойных ходов долбяка уточняется по фактически осуществляемым на станке (125; 178; 253; 359).

Установка длины хода долбяка и предельных его положений относительно заготовки. Длина хода долбяка равна

$$L = b + 2\Delta \text{ мм},$$

где b — ширина венца заготовки в мм;

Δ — величина перебега инструмента в мм с одной стороны.

Определение суммарной величины перебега показано на рис. 73.

Для установки предельных положений долбяка относительно заготовки на конце вала II (рис. 70) жестко закреплен кривошипный диск 3 (рис. 74) с пальцем 4, на который надет раздвижной шатун 5 со стопорным винтом 6. На гладкую цилиндрическую часть винта надета гильза 8 с нарезанной на ней рейкой ($m = 3,25$ мм). Последняя находится в сцеплении с колесом 11, насаженным на шлицевой вал 12. При вращении диска 3 шатун 5 вместе с винтом 6 и гильзой-рейкой 8, которая скользит в качающейся направляющей 7, сообщает колесу 11 и валу 12 (III по рис. 70)

Таблица 40

**Скорость резания (в м/мин) при обработке зубьев долбьями
(из стали Р-18) на вертикальных станках**

$s_{кр}$ в мм/дв. ход	При черновом и чистовом нарезании с одной установки детали						При чи- стовом нареза- нии	
	Модуль в мм							
	2	4	6	8	10	12		2—12
0,10	41	33	28	25	23	21	—	
0,13	36	29	24	22	20	19	—	
0,16	32	26	22	20	18	17	44	
0,20	29	23	20	18	17	16	39	
0,26	25	21	17	16	15	14	34	
0,32	23	18	15	14	13	13	31	
0,42	20	16	14	13	13	12	25	
0,52	18	14	12	11	10	10	—	
Стойкость долбья T (в ч)								
Черно- вой	5			7			5	
Чисто- вой	4							
Поправочные коэффициенты на скорость В зависимости от твердости заготовки								
Марка стали	45	35Х, 40Х	12ХНВА, 18ХГТ, 12ХМЗ	0ХНЗМ	88ХМЮА, 5ХНМ	Серый чугун		
НВ стали	170—207	156—207	156—229	229—285	156—229	170—210		
$k_{нв}$	1	1	0,8	0,6	0,8	0,8		
В зависимости от угла наклона зубьев								
Угол наклона зубьев β в град			0	15	30	45		
k_{β}			1	0,9	0,85	0,7		
В зависимости от периода стойкости долбья								
Отношение фактического перио- да стойкости к нормативному			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0 3,0	
$k_{тв}$	при черновой обработ- ке		1,3	1,1	1,0	0,9	0,85 0,80	
	при чистовой обработ- ке		1,5	1,2	1,0	0,9	0,80 0,70	
Примечание. Допускаемый износ долбья при черновой обработке 0,8—1 мм, при чистовой 0,2—0,4 мм.								

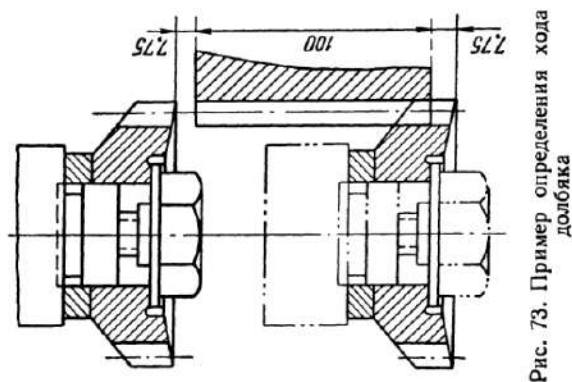


Рис. 73. Пример определения хода
долбяка

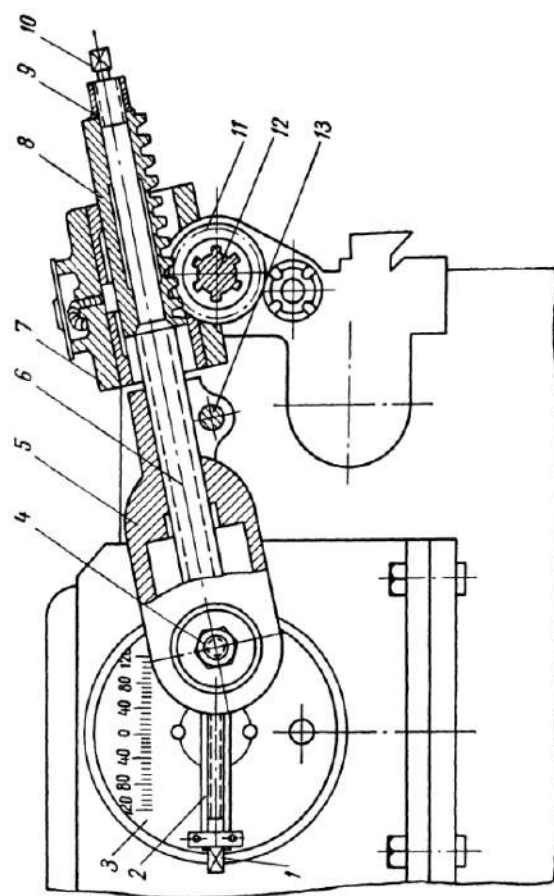
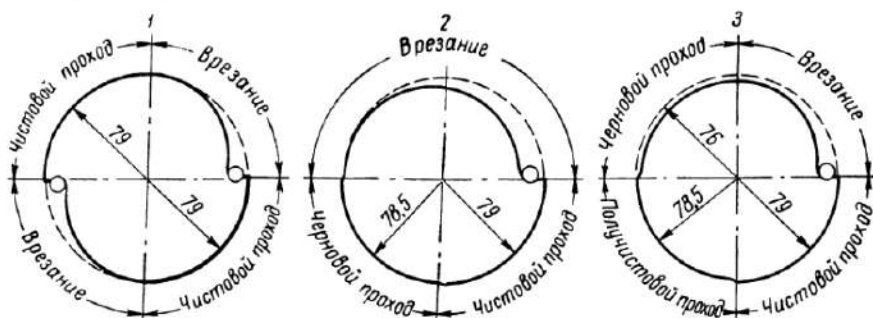


Рис. 74. Кривошипно-шатунный механизм станка модели 514

вращательное движение с периодически изменяющимся направлением вращения.

Настройка хода шпинделя на заданную длину производится поворотом квадрата 1 винта 2. При этом изменяется радиус кривошипного пальца 4 и в связи с этим длина хода шатуна 5 и рейки 8, вращающей колесо 11.



№ прохода	Однопроходной			Двухпроходной			Трехпроходной		
	Число оборотов заготовки после врезания								
	1			2			3		
	Вид прохода	Снимаемый слой в мм	Поворот кулачка в град	Вид прохода	Снимаемый слой в мм	Поворот кулачка в град	Вид прохода	Снимаемый слой в мм	Поворот кулачка в град
1	Чистовой	h	90	Черновой	$h-0,5$	90	Черновой	$h-3$	90
2	—	—	—	Чистовой	0,5	90	Получистовой	2,5	90
3	—	—	—	—	—	—	Чистовой	0,5	90

Рис. 75. Кулачки зубодолбежного станка модели 514

Установка заданного хода долбяка производится поворотом квадрата 10 при ослабленных гайке 9 и стопоре 13.

При повороте винта 6 происходит ввинчивание или вывинчивание его из шатуна 5. При этом гильза 8 с рейкой поворачивает колесо 11 и вал 12, поднимая или опуская долбяк.

Выбор кулачка радиальной подачи и установка долбяка на глубину врезания. В станке модели 514 применяются одно-, двух- или трехпроходные кулачки подачи.

Однопроходный кулачок (рис. 75) применяется при нарезании зубьев с модулем не более 3 мм в один проход на полную глубину.

Двухпроходный кулачок применяют для нарезания колес средней твердости с модулем до 5 мм.

Трехпроходный кулачок используется для нарезания колес с модулем более 5 мм, а также для обработки колес из твердых сталей или для получения повышенной точности профиля у колес меньших модулей.

Выбрав и закрепив в станке кулачок K_1 (см. рис. 69), устанавливают долбяк на глубину врезания, которая должна быть равна высоте зуба нарезаемого колеса.

Установка производится следующим образом. Поворачивают кулачок K_1 с помощью квадратной головки 18 в такое положение,

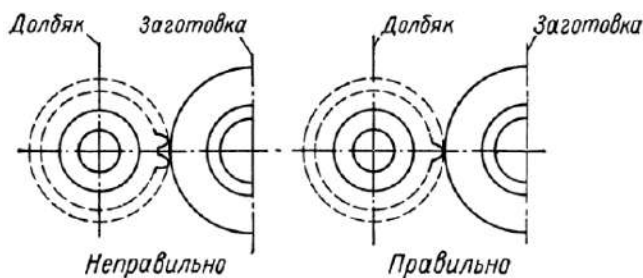


Рис. 76. Установка долбяков на линии центров

чтобы ролик P находился на дуге окружности ($R = 79$), соответствующей чистовому проходу. Затем необходимо обеспечить совпадение линии симметрии зуба долбяка с линией, которая соединяет центры долбяка и заготовки (рис. 76). Это делается для того, чтобы правильно установить долбяк на глубину врезания.

Не меняя положения кулачка K_1 , нажимают кнопку «Пуск» панели 14 (см. рис. 69), включают станок и заставляют долбяк совершать рабочее движение, не касаясь заготовки.

Вращая съемной рукояткой квадратную головку 4, подводят долбяк к заготовке так, чтобы он оставлял чуть заметные следы на наружной поверхности заготовки. Затем поднимают долбяк в крайнее верхнее положение, отмечают показание шкалы 3 и перемещают рукояткой на квадратной головке 4 шпиндель в радиальном направлении на величину, равную высоте зуба, отсчитывая ее по лимбу 3 с ценой каждого деления 0,02 мм. После этого кулачок K_1 поворачивают до тех пор, пока ролик P не попадет в выемку на кулачке и долбяк отодвинется влево под действием пружины 23 (см. рис. 69).

По окончании настройки станка обрабатывают первую заготовку из партии зубчатых колес и производят тщательную проверку размеров зубьев.

Настройка гитары деления. Для выполнения этой операции пользуются формулой (56)

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = 2,4 \frac{z_d}{z_3},$$

с учетом прилагаемого к станку набора сменных колес.

Пример 31. Рассчитать сменные колеса гитары деления при условии, что $z = 64$, а $z_d = 40$.

Из формулы имеем

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = 2,4 \frac{z_d}{z_3} = 2,4 \frac{40}{64} = \frac{24 \cdot 40}{10 \cdot 64} = \frac{48}{20} \cdot \frac{60}{96};$$

$$a = 48; \quad b = 20; \quad c = 60; \quad d = 96$$

Настройка гитары круговых подач. При черновой обработке зубьев устанавливают круговые подачи в пределах 0,21—0,44 мм, а при чистовой — 0,17—0,21 мм/дв. ход.

Из табл. 38 видно, что станок имеет шесть круговых подач при трех парах сменных колес *A* и *B*. Подбор сменных колес производится по формуле (50) для долбяка $d_d = 100$ мм и по формуле (51) — для долбяка другого диаметра основной окружности.

Настройка гитары радиальных подач. Величина радиальных подач устанавливается в зависимости от твердости материала нарезаемого колеса и модуля. Передаточное отношение гитары радиальных подач определяется по формуле (52). На гитару устанавливается одна из трех пар сменных шестерен $\left(\frac{25}{50}, \frac{40}{40}, \frac{50}{25}\right)$, что обеспечивает получение радиальных подач 0,024; 0,048; 0,096 мм/дв. ход.

Обеспечение заданной толщины зуба при нарезании. Отклонения по толщине зуба, как правило, очень малы, поэтому для предупреждения брака сначала суппорт устанавливают так, чтобы зубья обрабатывались на меньшую высоту, чем требуется, например на $h_d = h - 0,1$ м. При меньшей высоте зуба фактическая толщина его s_1 будет больше, чем заданная по чертежу (s).

Произведя замер фактической толщины зуба s_1 , определяют разность между $s_1 - s = \Delta s$.

Зная Δs , можно вычислить дополнительное перемещение долбяка к центру детали по формуле

$$\Delta h = \frac{\Delta s}{2 \operatorname{tg} \alpha},$$

где Δh — величина (в сотых долях миллиметра), на которую можно передвинуть суппорт вправо;

α — угол зацепления, равный 20° .

Перемещение суппорта производится с помощью квадрата 4 (см. рис. 69) и лимба 3.

Пример расчета наладки. Нарезать прямозубое колесо со следующими данными: число зубьев $z = 82$; модуль $m = 4$ мм; угол зацепления $\alpha = 20^\circ$; толщина зубчатого венца $b = 40$ мм; материал колеса — сталь 45; степень точности — 7-я (по ГОСТу 1643—56).

Выбираем прямозубый чистовой долбяк для 7-й степени точности класса А по ГОСТу 9323—60: модуль $m = 4$ мм; диаметр делительной окружности $d_d = 75$ мм; число зубьев $z_d = 19$.

Число двойных ходов долбяка устанавливаем, исходя из принятой скорости резания $v = 23$ м/мин по формуле

$$n = \frac{1000v}{2(b + 2\Delta)} = \frac{1000 \cdot 23}{2(40 + 2 \cdot 4)} = \frac{500 \cdot 23}{48} = 240.$$

Принимаем ближайшее имеющееся на станке число двойных ходов $n_1 = 253$. Длина хода долбяка определяется по формуле

$$L = b + 2\Delta = 40 + 2 \cdot 4 = 48 \text{ мм.}$$

Ввиду требуемой высокой точности зубьев без предварительного царезания устанавливаем трехпроходной кулачок.

Сменные колеса гитары подбираются расчетом:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = 2,4 \cdot \frac{z_d}{z_g} = \frac{24}{10} \cdot \frac{19}{82} = \frac{24}{40} \cdot \frac{38}{41};$$

$$a = 24; \quad b = 40; \quad c = 38; \quad d = 41.$$

Сменные колеса гитары круговых подач выбираются по табл. 38 после выбора значения круговой подачи. Приняв за исходную подачу $s_{кр} = 0,21$ мм/дв. ход, из таблицы получаем $A = 39$, $B = 50$, но так как диаметр долбяка принят равным 75 мм, а таблица составлена для $d_d = 100$ мм, то фактическая круговая подача будет

$$s'_{кр} = \frac{39 \cdot 75}{50 \cdot 3,66 \cdot 100} = 0,16 \text{ мм/дв. ход.}$$

Радиальная подача для данного в примере материала и модуля принимается равной 0,48 мм, что требует установки в гитаре радиальных подач сменных колес $a = 40$ и $d = 40$.

27. ЗУБОСТРОГАЛЬНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРЯМОЗУБЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

Принцип работы зубострогальных станков

Зубья конических колес в большинстве случаев нарезаются на зубострогальных станках по способу обкатки. Способ обкатки при помощи двух резцов является наиболее распространенным. По этому способу работают станки моделей 523, 526, 5А26, 5282 и др., а также зарубежных фирм «Глисон», «Модуль», «Гайденрейх-Гарбек».

Рассмотрим схему нарезания зубьев по этому способу. Представим себе два находящиеся в зацеплении конических колеса (рис. 77, а), одно из которых плоское (большое). Допустим, что вместо малого колеса взята заготовка 1, а вместо плоского колеса 2 взято только два зуба (рис. 77, б). Заменим эти два зуба

резцами 3 и осуществим одновременное и согласованное вращение заготовки и двух резцов, совершающих возвратно-поступательное движение. В результате на заготовке будут простроганы зубья. Оси вращения заготовки и плоского колеса при этом будут неподвижны.

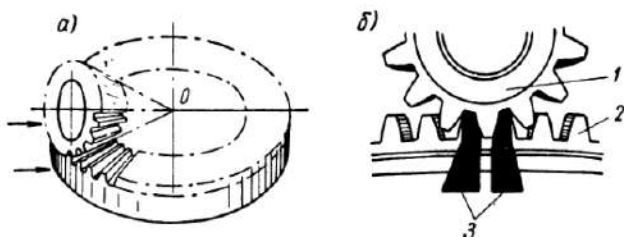


Рис. 77. Схема нарезания конических зубчатых колес резцами: а — схема, поясняющая сущность способа нарезания; б — схема нарезания:

1 — заготовка; 2 — воображаемое плоское колесо; 3 — резцы

Процесс нарезания зубьев обычно происходит при движении резцов к вершине конуса заготовки (возможно и наоборот, например на станке 5А26). Обратный ход резцов является нерабочим. Оба движения — рабочее и холостое — составляют двойной ход резца.

Процесс нарезания происходит так: сначала во вращающуюся заготовку 1 врезается резец 2 (рис. 78, а), обрабатывающий одну из поверхностей зуба, затем вступает в работу другой резец, который обрабатывает противоположную сторону зуба (рис. 78, б). Когда резцы достигнут среднего положения, т. е. симметричного относительно зуба нарезаемого колеса, то впадины зубьев окажутся прорезанными на полную глубину (рис. 78, в). При дальнейшем вращении заготовки резцы окончательно обкатывают боковые поверхности зубьев (рис. 78, г).

Этим заканчивается нарезание первого зуба. Затем люлька с резцами и заготовка меняют направление вращения и возвращаются в исходное положение (холостой ход); происходит быстрый поворот заготовки на один угловой шаг ($\frac{1}{z}$ оборота) и начинается процесс нарезания второго зуба. Однако теперь уже

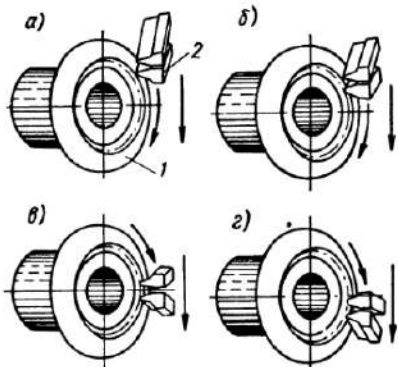


Рис. 78. Схема нарезания зубьев конического колеса способом обкатки двумя резцами:

1 — заготовка нарезаемого колеса; 2 — резцы

Техническая характеристика зубострогальных станков, предназначенных

Показатели	Станки отечественных моделей					
	523	5П23Б	526	5А26	5282	5284
Наибольший нарезаемый модуль в мм	2,5	2,5	8	8	16	25
Число нарезаемых зубьев:						
наибольшее	80	100	200	200	100	180
наименьшее	10	10	10	10	10	12
Угол делительного конуса:						
наибольший	75°58'	84°18'	84°18'	84°18'	84°18'	84°18'
наименьший	14°2'	5°42'	5°42'	5°42'	5°42'	5°42'
Длина образующей начального конуса в мм:						
наибольшая	57	63	305	300	410	750
наименьшая	12	7	0	0	105	225
Наибольшая длина нарезаемого зуба в мм	22	20	90	90	135	235
Число двойных ходов резцов в минуту	194—770	160—800	85—442	54—470	27—192	—
Время нарезания одного зуба в сек	1,7—37	3,7—37	7,6—86,5	7,6—114	—	—
Мощность электродвигателя в кВт	0,52	1,7	2,8	2,8	—	7
Вес станка в кг	850	1600	4500	6000		25 000

Примечание. На станке 5284 и на станках Гайденайх-Гарбек можно на

Таблица 41

для нарезания конических колес

Гайдерайх-Гарбек (ФРГ)				Глисон (США)			Модуль (ГДР)
15КН, 15КНС	25КН, 25КНС	50КН, 50КНС	75КН, 75КНС	3"	8"	12"	К280Х8
5	8	10	20	2,5	6,35	8,5	8
200	200	200	—	80	—	100	200
8	8	8	—	10	—	10	10
82°14'	82°14'	82°14'	82°14'	75°58'	80°32'	84°18'	82°14'
7°36'	7°36'	7°36'	7°36'	14°2'	9°28'	5°42'	7°36'
105	143	283	400	60	82	305	—
—	—	—	—	12	—	—	—
50	70	85	160	22	38	90	70
63—400	60—300	47—285	19—180	196—795	300—500	85—422	60—300
—	—	—	—	1,5—30	—	7,6—86	—
2,2	3,0	3,6	5,5	0,68	2,2	4,1	—
2000	2500	3350	7500	816	2800	4218	—

резать колеса с прямыми и косыми зубьями, а на остальных моделях — только с прямыми.

первый резец, профилирующий боковую поверхность следующего зуба, работает с меньшей нагрузкой, так как входит в предварительно прорезанную другим резцом впадину. Полная обработка зуба происходит за цикл, состоящий из рабочего хода, холостого хода и деления.

Так как один из резцов все время врезается в сплошную заготовку, то он работает с перегрузкой, и это влияет на точность нарезаемого колеса. Поэтому нарезание ведется не менее чем в два прохода — черновой и чистовой.

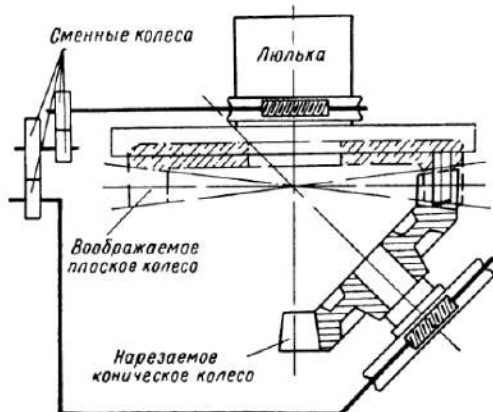


Рис. 79. Принципиальная схема зубострогального станка модели 5А26

По рассмотренному циклу работает станок модели 5А26, а цикл станка 526 отличается тем, что отсутствует холостой ход люльки, и поэтому каждый зуб обрабатывается в два прохода.

Черновое нарезание конических колес производится одиночным делением, когда прорезается каждая впадина зуба, и двойным делением, т. е. когда деление выполняется через зуб. В этом случае каждый резец врезается в сплошную заготовку и обрабатывает соответствующую впадину.

Черновое нарезание зубьев можно осуществлять с обкаткой и без обкатки, т. е. простым врезанием, при этом впадина получается клиновидной формы.

Принципиальная схема зацепления плоского производящего колеса с нарезаемым колесом показана на рис. 79. Роль плоского колеса выполняют резцы, расположенные на люльке, ось которой совпадает с условной осью плоского производящего колеса. Люлька вращается вокруг своей оси и связана кинематической цепью со шпинделем, на котором сидит заготовка. Передаточное отношение этой цепи, устанавливаемое сменными колесами, должно быть таким, чтобы заготовка вращалась с угловой скоростью, необходимой для правильного зацепления с производящим колесом.

Рассмотренная схема относится к широко распространенным в промышленности станкам моделей 526 и 5А26. Модель 5А26 является более совершенной конструкцией по сравнению с моделью 526.

В табл. 41 приведены технические характеристики некоторых зубострогальных станков отечественного и зарубежного производства.

Зубострогальный станок модели 5A26

Станок модели 5A26 предназначен для нарезания прямозубых конических колес с бочкообразной формой зуба. Эти колеса менее чувствительны к погрешностям монтажа и влиянию деформации вала. Передатки с такими колесами имеют малый уровень шума при работе.

На станке модели 5A26 можно строгать зубья не только по направлению к вершине конуса, но и в обратном направлении. Этим способом рекомендуется обрабатывать зубья колес с углом делительного конуса свыше 70° .

Станок имеет гидравлическое устройство с целью быстрого перемещения делительной бабки с заготовкой в исходное положение для нарезания, а также устройство для гидравлического закрепления оправки в шпинделе делительной бабки.

Рабочий цикл станка включает следующие движения: подачу стола с бабкой и заготовкой в рабочее положение; рабочую обкатку (люлька вращается против часовой стрелки); отвод стола; холостой ход — обратное вращение люльки и заготовки; деление (поворот на один зуб).

Черновое нарезание можно производить и без обкатки — простым врезанием с одиночным делением. Рабочий цикл состоит из подачи стола с бабкой и заготовкой в рабочее положение (при этом люлька и заготовка не вращаются) до врезания резцов на полную глубину впадины, отвода делительной бабки с заготовкой и деления.

Общий вид станка 5A26 приведен на рис. 80. Основные узлы его перечислены ниже.

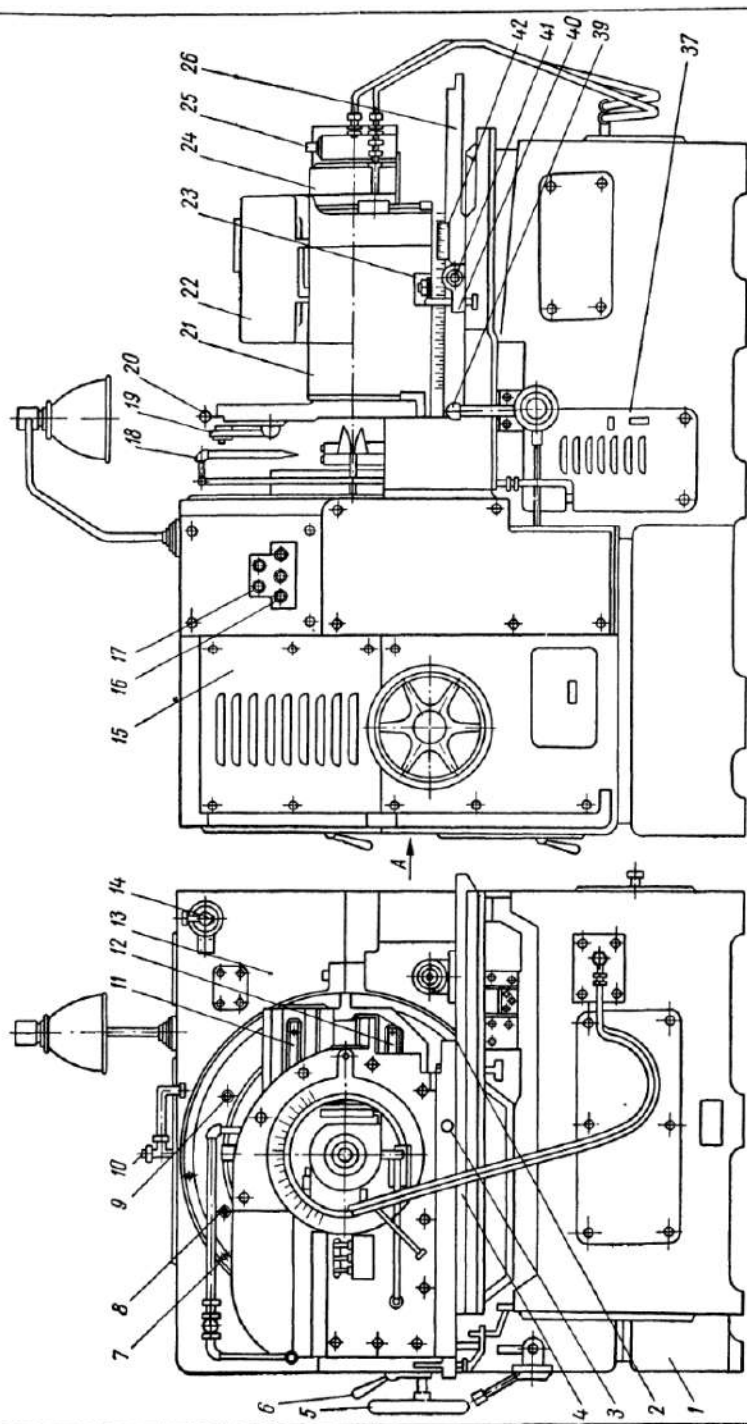
Станина 1, на которой смонтированы стойка *13* с люлькой *7* и подвижной стол *4*. На столе расположена поворотная плита *26* с делительной бабкой *21*, перемещающейся в осевом направлении. На станине также находятся указатели уровня масла *36* и уровня охлаждающей жидкости *37*. Резервуары масла и охлаждающей жидкости расположены внутри станины.

Стойка люльки 13 имеет роликовые направляющие для качательного движения люльки и маслоуказатель *10* механизма смазки. Справа на стойке находится трубопровод *18*, подающий охлаждающую жидкость на резцы.

Суппорты 11, 12, расположенные на люльке, получают возвратно-поступательное движение от шатунно-кривошипного механизма. На них установлены резцедержатели с резцами. Поворотом валика *8* суппорты устанавливают под углом ϕ и закрепляют болтом *9*.

Подвижной стол 4 перемещает поворотную плиту с делительной бабкой и заготовкой для подвода ее к резцам и отвода от резцов.

Поворотная плита 26 служит для установки находящейся на ней делительной бабки под углом к плоскости движения передних режущих кромок резцов.



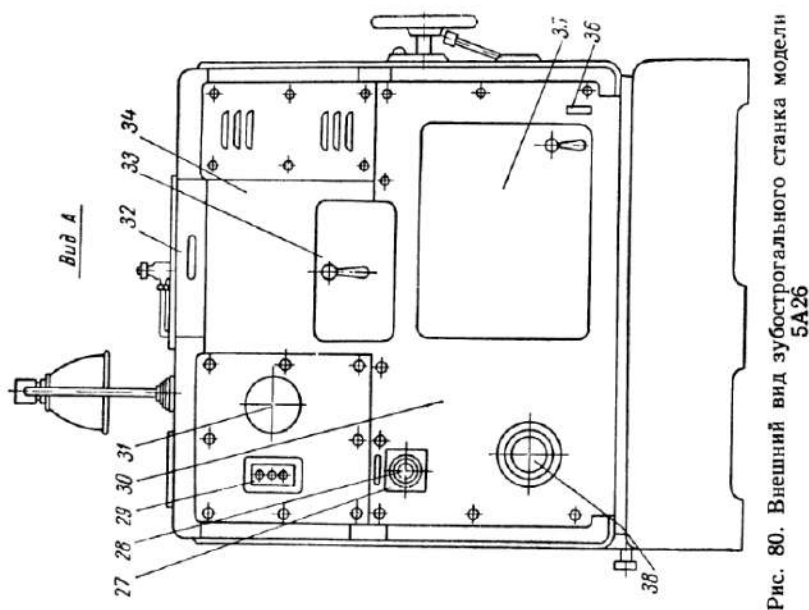


Рис. 80. Внешний вид зубоотрагального станка модели 5А26

Рукояткой, вставленной в гнездо 3, плиту устанавливают вначале приблизительно, а затем приводят в требуемое положение с помощью приспособления 40. Отсчет поворота плиты на угол φ , производится по нониусу 2.

Делительная бабка 21 предназначена для установки заготовки в такое положение, чтобы центр линий, образующих поверхность зубьев колеса, совпал с центром станка. В этом положении бабка закрепляется гайкой 23. Делительная бабка содержит шпиндель, часть механизма обкатки, сменные колеса механизма деления (под крышкой 22) и калибр 19 для деления припуска; калибр закрепляется фиксатором 20. Перемещение делительной бабки производится валиком 41; величина перемещения отсчитывается по шкале 42. Заготовка закрепляется на шпинделе делительной бабки гидрозажимом 24; давление масла регулируется редукционным клапаном 25.

Коробка скоростей 34 расположена в корпусе, в котором находятся электродвигатель и часть механизма привода, а под крышкой 32 — сменные шестерни гитар скорости резания и подачи. Под крышкой 15 находится электродвигатель гидропривода, а под дверцей 33 — головка вала для установки длины хода резцов.

Коробка подач 30 расположена в корпусе, в котором также находятся автоматический выключатель 27 с лимбом 28 для установки выключателя на число зубьев нарезаемого колеса и указатель 38 для установки барабана подач в нулевое положение.

Под дверцей 35 имеется механизм обкатки со сменными шестернями гитары обкатки и гитары установки угла качания люльки.

К органам управления станка относятся: кнопочные станции 16, 29 для управления электродвигателями главного движения и насоса охлаждения с кнопками «Пуск», «Толчок», «Стоп»; кнопочная станция 17 для управления электродвигателем гидропривода с кнопками «Пуск», «Стоп»; пакетный выключатель 14 для включения и отключения станка от электросети; маховичок 5 для ручного поворота механизмов станка; рукоятка 6 для включения и выключения маховичка 5; крышка 31, под которой находится барабанный переключатель, реверсирующий вращение главного электродвигателя; рукоятка 39 для подвода и отвода стола, зажима и обжима заготовки.

Кинематическая схема станка. Кинематическая схема станка 5А26 (рис. 81) состоит из следующих цепей: главного движения, механизма подачи, качания люльки, цепи деления, цепей обкатки, подвода и отвода стола.

Механизм главного движения и отвода резцов. От вала I электродвигателя (мощностью 2,8 кВт, 1460 об/мин) посредством конических колес 12—41 движение передается на вал II и далее через сменные шестерни гитары скоростей А и В, вал III и коническую пару 17—38 — центральному валу люльки IV.

Конец вала IV оформлен в виде диска 1, палец которого посредством шатуна качает коромысло 2, соединенное с ползунами 3, скользящими взад и вперед по направляющим 4. Во время вращения вала IV верхняя направляющая получает от торцового кулачка 5 небольшое перемещение, перпендикулярно линии движения ползуна с резцом, необходимое для отвода верхнего резца при обратном ходе, а также для образования зуба бочкообразной формы. Такое же устройство имеется для отвода нижнего резца.

Профиль торцового кулачка построен так, чтобы во время рабочего хода каждый из резцов двигался по дуге (со стрелкой 0,04—0,05 мм), а во время обратного хода отводился на 1,5 мм, не касаясь зуба. Таким образом, во время рабочего хода обеспечивается получение зуба бочкообразной формы, а во время обратного (холостого) хода — отвод резцов от детали.

Уравнение кинематической цепи главного движения:

$$1460 \frac{12}{41} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{17}{38} = n \text{ дв. ход/мин.}$$

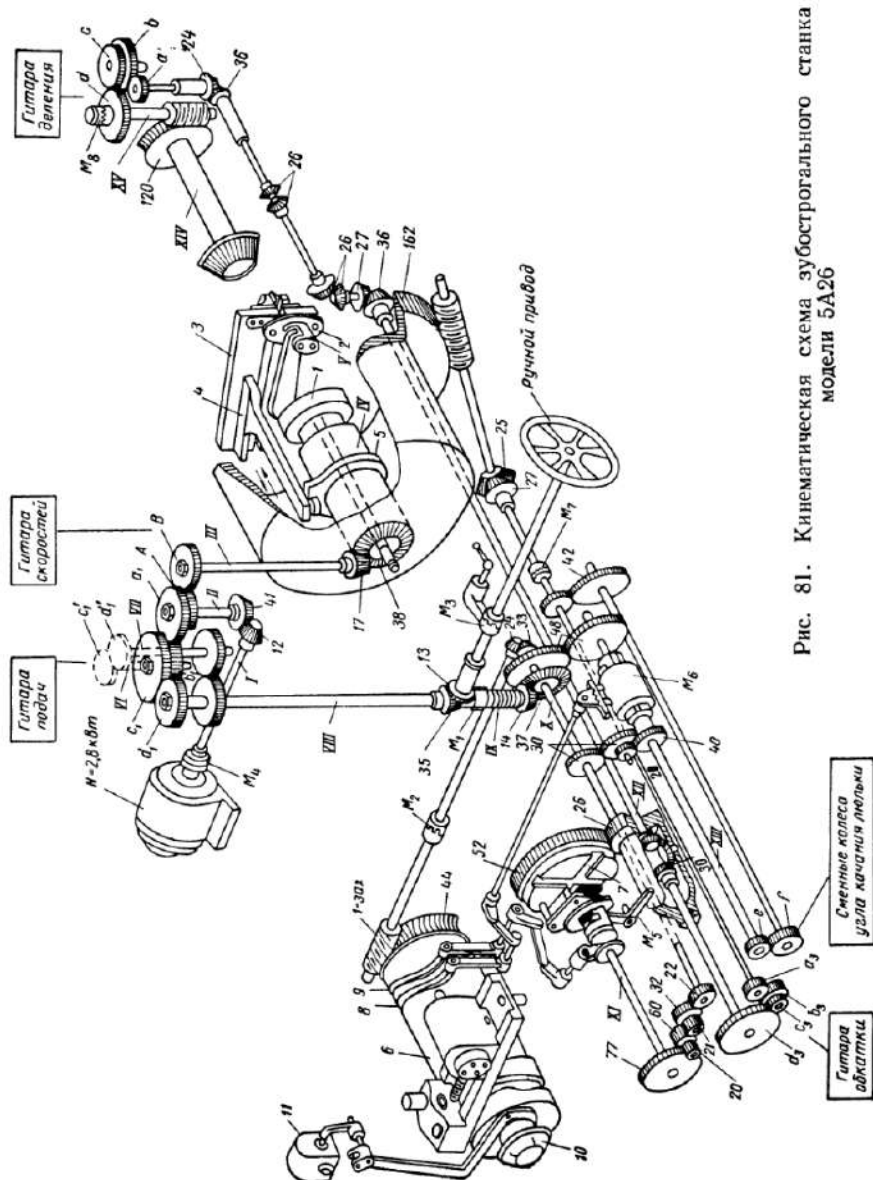


Рис. 81. Кинематическая схема зубострогального станка модели 5A26

откуда передаточное отношение гитары скоростей

$$\frac{A}{B} = \frac{n}{191,2}. \quad (55)$$

Сумма зубьев шестерен $A + B = 90$.

Механизм подачи. Для станка типа 5А26 подача s условно выражается временем обработки одного зуба (в *сек*). За это время распределительный барабан b делает один оборот, обеспечивая все движения, необходимые для обработки каждого зуба. Этот барабан состоит из двух соединенных между собой барабанов управления и подачи.

Передаточное отношение сменных шестерен гитары подач подбирается из расчета, чтобы за время обработки одного зуба t *сек* распределительный барабан сделал один оборот. Это передаточное отношение получается из уравнения кинематической цепи, связывающей главный электродвигатель с распределительным барабаном.

$$1460 \frac{12}{41} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \frac{14}{37} \cdot \frac{33}{24} \cdot \frac{1}{44} = \frac{60 \text{ сек}}{s} = n_{бар},$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{12}{s}. \quad (56)$$

К станку прилагается набор сменных шестерен, при помощи которых можно настраивать станок, устанавливая время обработки одного зуба от 7,6 до 114 *сек* (табл. 46). Муфта M_1 , соединяющая валы VIII и IX, позволяет вращать механизм только в одном направлении и проскальзывает при вращении в обратную сторону. Назначение этой муфты — предупредить поломки станка при неправильной установке сменных шестерен гитары подач.

Распределительный барабан (подачи) b в начале нарезания зубьев через кулису автоматически подводит стол вместе с заготовкой к резцам, а во время холостого хода отводит его. На цилиндрической поверхности барабана имеются две клиновидные канавки 8 и 9; одна из них используется при черновом нарезании а другая — при чистовом.

В одну канавку вводится ролик, который, будучи связан системой рычагов со столом, перемещает его вместе с делительной бабкой и заготовкой. После нарезания зуба стол отводится на величину большую, чем высота нарезаемого зуба (1—1,5 мм). Установка величины отвода стола производится при помощи винта кулисы по шкале отсчета.

При резании зубьев колеса от внутренней части к наружной необходимо изменить направление вращения центрального вала IV реверсированием электродвигателя, не изменяя при этом направления вращения распределительного барабана b . Последнее достигается перестановкой на гитаре подач шестерен c_1 и d

в положение c'_1 и d'_1 . Кроме этого, следует поменять местами верхний и нижний резцедержатели.

За время обработки одного зуба распределительный барабан 6 делает один оборот, а распределительный вал X $1 \frac{44}{1} \cdot \frac{24}{33} = 32$ оборота. Этот вал приводит в действие механизмы качания люльки и деления.

Механизм качания люльки. Люлька в процессе обработки колеса должна качаться на угол θ , который определяется по формуле (при $\alpha = 20^\circ$)

$$\theta = 2 \left[\frac{3,55 \cdot 3f'' + 90}{z} - 0,8 \right] \sin \varphi, \quad (57)$$

где $f'' = \frac{h^*}{m}$ — отношение высоты ножки зуба к модулю;

φ — угол начального конуса нарезаемого колеса;

z — число зубьев нарезаемого колеса.

Угол θ обычно подбирают опытным путем так, чтобы за время движения люльки происходила полная обкатка боковых поверхностей зубьев.

Качание люльки и вращение заготовки осуществляются через реверсивную муфту M_4 , которая устроена так, что поворачивает валик $XIII$ и сидящую на нем сменную шестерню c за время одного оборота барабана 6 на 10 оборотов в одну сторону (рабочий ход) и на 10 оборотов — в другую сторону (холостой ход).

Качание люльки идет от сменных шестерен e — f , пары 42—42, конической передачи 27—25 и червячной передачи 1—162. Зная, что за 10 оборотов шестерни e люлька должна повернуться на угол θ , можно составить кинематическую цепь:

$$10M_6 \frac{e}{f} \cdot \frac{42}{42} M_7 \frac{27}{25} \cdot \frac{1}{162} 360 = \theta,$$

откуда

$$\frac{e}{f} = \frac{\theta^*}{24}; \quad e + f = 90 \text{ зубьев.} \quad (58)$$

Комплекс прилагаемых к станку сменных колес обеспечивает получение угла качания люльки в пределах $8,7$ — 53° (см. табл. 45).

Цепь деления. Поворот заготовки на $\frac{1}{z}$ оборота называется делением. Осуществляется оно следующим образом. От распределительного вала X , делающего 32 оборота при одном обороте распределительного барабана 6, вращение передается муфте M_5 , сидящей на валу XI и делающей 2 оборота. Таким образом, за цикл обработки одного зуба распределительный барабан делает один оборот, а муфта M_5 — 2 оборота.

Ролик 9, катящийся по канавке распределительного барабана 6, через систему рычагов отводит муфту M_5 вправо, при этом пальцы муфты заходят в пазы мальтийского креста, последовательно поворачивая его на $\frac{1}{2}$ оборота (первый палец поворачивает мальтийский крест на $\frac{1}{4}$ оборота, затем второй палец входит в следующий паз мальтийского креста и поворачивает его еще на $\frac{1}{4}$ оборота). От мальтийского креста через передачу 52—26 поворачивается корпус дифференциала на один оборот: $\frac{1}{2} \cdot \frac{52}{26} = 1$.

После поворота мальтийского креста на $\frac{1}{2}$ оборота ролик 9, входящий в паз канавки распределительного барабана, поворачивает в обратную сторону систему рычагов, отводя муфту влево, т. е. в исходное положение.

За один оборот корпуса вал XII (благодаря свойству дифференциала) делает два оборота. В это время шпиндель бабки XIV с заготовкой должен повернуться на $\frac{1}{z}$ оборота. Из этого условия составляется уравнение цепи деления:

$$2 \text{ оборота вала } XII \cdot \frac{36}{27} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{36}{24} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} M_8 \frac{1}{120} = \frac{1}{z}.$$

Отсюда определяем передаточное отношение сменных колес цепи деления:

для одиночного деления

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{30}{z}; \quad (59)$$

для двойного деления

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{60}{z}. \quad (60)$$

Для настройки гитары деления и обкатки к станку прилагается набор сменных колес модулем 1,75 мм со следующими числами зубьев: 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40 (2 шт.); 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80 (2 шт.); 82; 83; 86; 89; 90; 91; 97; 100.

Корпус дифференциала во время поворота освобождается, а после каждого оборота снова фиксируется.

Для вращения шпинделя XIV вручную ведомый вал XV гитары деления отключают муфтой M_8 от кинематической цепи. При проверке оправки и заготовки на радиальное и торцовое биение рукояткой, надетой на конец вала, вращают шпиндель с заготовкой

Цепь обкатки. Обкаткой называется качательное движение шпинделя с заготовкой, согласованное с качательным движением люльки. В то время как люлька поворачивается на один шаг

воображаемого плоского колеса (на $\frac{1}{z_x}$ оборота), заготовка через кинематическую цепь должна повернуться тоже на 1 шаг ($\frac{1}{z}$ оборота), т. е. за время нарезания люлька и заготовка должны совершать одновременное вращение с передаточным отношением

$$i_{обк} = \frac{z_x}{z};$$

здесь z_x — число зубьев воображаемого плоского колеса:

z — число зубьев нарезаемого колеса.

Число зубьев z_x плоского колеса, зубья которого описываются режущими кромками резцов, можно найти из геометрического расчета.

Из $\triangle AOB$ (рис. 82) $AB = AO \sin \varphi$, а из $\triangle AOD$ $AO = \frac{OD}{\cos \gamma}$; отсюда $AB = \frac{OD \cdot \sin \varphi}{\cos \gamma}$.

Подставляя значения AB и OD (рис. 82), получим

$$\frac{mz}{2} = \frac{\frac{mz_x}{2} \sin \varphi}{\cos \gamma}; \quad z = \frac{z_x \sin \varphi}{\cos \gamma},$$

откуда

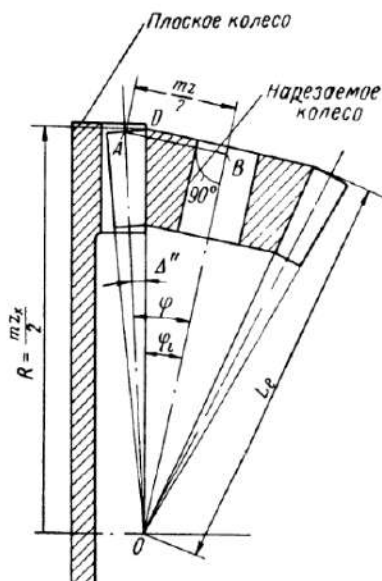


Рис. 82. Определение числа зубьев (z_x) плоского колеса

$$z_x = \frac{z \cos \gamma}{\sin \varphi}. \quad (61)$$

Качательное движение заготовки осуществляется от люльки через цепь

$$\frac{1}{z_x} \cdot \frac{162}{1} \cdot \frac{25}{27} M_7 \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} i_{\partial u \phi} \frac{36}{27} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \times$$

$$\times \frac{36}{24} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} M_8 \frac{1}{120} = \frac{1}{z}.$$

Подставляя значения

$$i_{\partial u \phi} = 1; \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{30}{2},$$

получаем

$$i_{o\delta\kappa} = \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{z \cos \gamma}{75 \sin \varphi}. \quad (62)$$

Для зубчатых колес с межосевым углом $\delta = 90^\circ$ расчет можно производить по формуле

$$i_{обк} = \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{\sqrt{z_{ш}^2 + z_{к}^2}}{75} \cos \gamma, \quad (63)$$

где $z_{ш}$ — число зубьев малого колеса (шестерни);

$z_{к}$ — число зубьев большого колеса.

Для неответственных передач, конические колеса которых нарезаются на одном и том же станке, можно не учитывать $\cos \varphi$, так как при малой его величине он близок к единице.

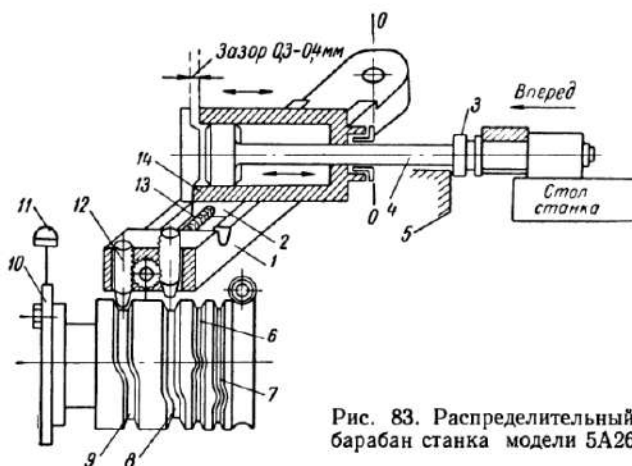


Рис. 83. Распределительный барабан станка модели 5А26

Механизм подвода и отвода стола. На распределительном барабане станка 5А26 имеются две канавки 8 и 9 (рис. 83), используемые соответственно при черновой и чистовой обработке зубьев.

Один из роликов, например 12, при помощи особого устройства вводится в канавку 9 барабана, второй ролик при этом автоматически выводится из другой канавки 8. При вращении барабана введенный ролик поворачивает кулису 1 вокруг оси 00 и при помощи камня 2 перемещает цилиндр 14 в осевом направлении. Камень 2 устанавливается винтом 13 так, чтобы длина хода цилиндра была равна глубине впадины зуба плюс 1—1,5 мм. Шток 4 соединен со столом станка.

Под давлением масла в правой полости цилиндра (левая полость сообщается с резервуаром) стол устанавливается в рабочее положение. Поршень прижимается к крышке цилиндра при движении стола вперед, и в крайнем положении буртик 3 на штоке упирается в станину 5. Когда вращением барабана цилиндр будет смещен в крайнее левое положение, между поршнем и крышкой должен оставаться зазор в 0,3—0,4 мм.

Быстрый подвод и отвод стола с заготовкой осуществляются перемещением поршня в цилиндре.

Распределительный барабан используется и для управления автоматическим циклом станка. Так, если канавки 8 и 9 служат для подвода и отвода стола, то канавки 6 и 7 — для переключения реверсивной муфты M_6 (рис. 81) и включения делительного механизма; кулачок 10 приводит в действие счетчик числа обработанных зубьев, который, после того как отсчитает установленное число, через микровыключатель 11 выключает главный двигатель и останавливает станок.

Чтобы снять нарезанное колесо, поворотом рукоятки 39 (рис. 80) отводят стол в исходное положение.

Наладка станка модели 5А26

Угол установки суппортов. При нарезании конических колес суппорты с резцедержателями поворачиваются на угол ω ; отсчитываемый по шкале 4 (рис. 84). При чистовом нарезании этот угол определяется по формуле

$$\omega = \frac{57,296 \left(\frac{s_d}{2} + h'' \operatorname{tg} \alpha \right)}{L \cos \gamma} \text{ град}, \quad (64)$$

где s_d — толщина зуба по длительной окружности в мм;

h'' — высота ножки зуба в мм;

α — угол профиля резцов в град;

γ — угол ножки зуба в град;

L — длина образующей делительного конуса колеса в мм.

Для некорригированных колес эта формула может быть упрощена. В ней $\cos \gamma$, ввиду малости угла, принимаем равным единице; $h'' = 1,2m$; $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 20^\circ = 0,364$; $s_d = \frac{\pi m}{2}$.

Произведя подстановку, получим:

$$\omega = \frac{70m}{L} \text{ град}. \quad (65)$$

При черновом нарезании для получения припуска в пределах 0,25—1,25 мм на каждую сторону зуба угол ω следует увеличить на добавочную величину $\Delta\omega$, которая определяется по формуле

$$\Delta\omega = \frac{57,296 \frac{\Delta s_d}{2}}{L} \text{ град} \quad (66)$$

или

$$\Delta\omega = \frac{3438 \frac{\Delta s_d}{2}}{L} \text{ мин}, \quad (67)$$

где $\frac{\Delta s_d}{2}$ — припуск на каждую сторону зуба в мм.

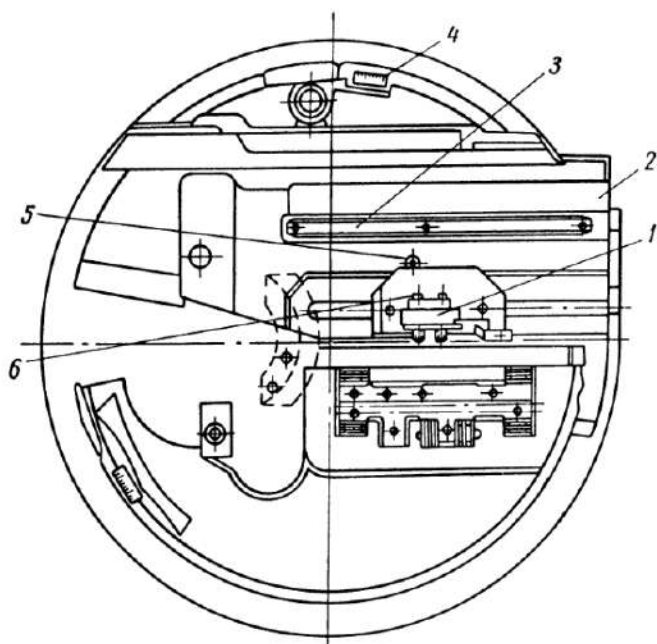


Рис. 84. Люлька:

1 — резцедержатель; 2 — верхний суппорт; 3 — направляющая планка; 4 — шкала; 5 — винт смещения резцедержателя; 6 — винт закрепления резца

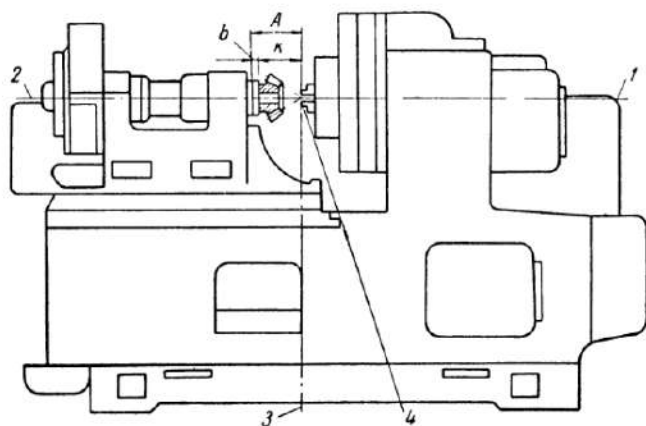


Рис. 85. Геометрические оси станка:

1 — вращения люльки, 2 — вращения шпинделя делительной бабки; 3 — поворота плиты; 4 — центр станка

В табл. 42 приведены величины $\Delta\omega$ в зависимости от припуска и длины образующей конуса L .

Геометрическим центром станка 5А26 является точка 4 (рис. 85), в которой пересекаются оси вращения люльки 1 и шпинделя 2 и ось поворота плиты 3.

Таблица 42

Величины добавочных углов $\Delta\omega$ в зависимости от припуска

Длина образующей делительного конуса в мм	Припуск на сторону зуба в мм					
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50
25	0°35'	1°9'	1°43'	2°18'	2°52'	3°26'
50	0°17'	0°34'	0°52'	1°19'	1°26'	1°43'
100	0°8'	0°17'	0°26'	0°35'	0°43'	0°52'
150	0°6'	0°11'	0°17'	0°23'	0°28'	0°35'
200	0°4'	0°9'	0°13'	0°17'	0°21'	0°26'
250	0°3'	0°7'	0°10'	0°14'	0°17'	0°21'
300	0°3'	0°6'	0°9'	0°12'	0°14'	0°17'

Для получения правильной формы зуба необходимо установить нарезаемое колесо так, чтобы вершина его делительного конуса совпала с центром станка и линии движения верхних точек режущих кромок резцов проходили через этот же центр. Это достигается установкой резцов на резцедержателе с помощью прилагаемых к станку калибров.

Сначала резцы устанавливают по высоте таким образом, чтобы их вершины были расположены в плоскости, перпендикулярной к оси люльки и проходящей через центр станка, что достигается перемещением резцов вдоль резцедержателей, опорная плоскость которых наклонена под углом 12° к линии движения резцов.

Проверка такой установки резцов производится для каждого резца. На контрольную плиту 1 (рис. 86) ставится калибр 2 с индикатором 3, наконечник которого 4 касается мерительного штифта 5, лежащего на контрольном блоке 6. Индикатор устанавливается на нуль. Затем калибр переносится на направляющую

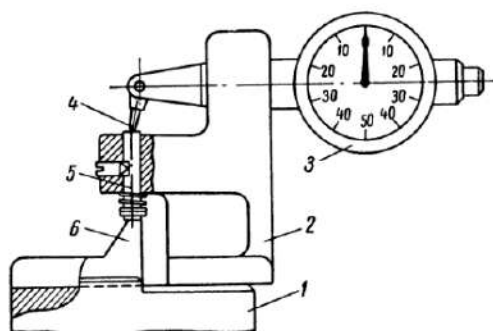


Рис. 86. Калибр установки резцов по высоте

планку 3 (рис. 84) люльки так, чтобы наконечник индикатора коснулся вершины резца. Резец передвигают по резцедержателю до тех пор, пока стрелка индикатора не установится на нуль. После этого резец закрепляется болтами.

Затем резцы устанавливаются в правильном положении по режущим кромкам специальным калибром с индикатором, который настраивается по блоку 5 на контрольной плите 1 (рис. 87). Калибр 2 ставится в такое положение, чтобы наконечник 4 индикатора 3 находился напротив контрольного блока 5. Шкала

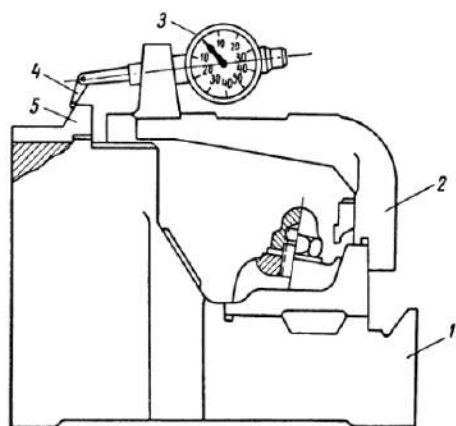


Рис. 87. Калибр установки резцов по режущей кромке

индикатора устанавливается на нуль.

Настроенный калибр переносят на направляющую планку 3 (рис. 84), причем ножка индикатора должна касаться режущей кромки резца. Поднимая и опуская винт резцедержателя, добиваются получения нулевого положения на шкале индикатора, после чего закрепляют резцедержатель. К станку прилагается упрощенный калибр для установки резцов после их переточки.

Установка длины хода резцов. Для определения величины хода резцов следует

изменить величину эксцентриситета подвижного пальца, сидящего на торце диска 1 вала IV (рис. 81). При вращении вала IV подвижной палец диска, соединенный шатуном с коромыслом 2, сообщает последнему качательное движение. За один оборот вала IV происходит двойной ход ползунов для верхнего и нижнего резцов.

Величина хода резцов устанавливается по лимбу шестигранника, расположенного на переднем торце вала IV (на схеме шестигранник и лимб не показаны). Передвижение пальца на диске 1 производится вращением шестигранника.

Участок хода резцов, соответствующий месту расположения зубьев на изделии, устанавливается путем перестановки резцедержателей.

Подбор сменных колес гитары скоростей. Передаточное отношение гитары скоростей определяется по приведенной выше формуле (55).

В зависимости от длины хода резцов и средней скорости резания сменные колеса А и В, а также число двойных ходов резцов в минуту устанавливаются по табл. 43.

Выбор смежных шестерен гитары скоростей резания ($A + B = 90$ зубьев)

Сменные шестерни $\frac{A}{B}$	$\frac{20}{70}$	$\frac{24}{66}$	$\frac{28}{62}$	$\frac{32}{58}$	$\frac{35}{55}$	$\frac{39}{51}$	$\frac{42}{48}$	$\frac{45}{45}$	$\frac{48}{42}$	$\frac{51}{39}$	$\frac{55}{35}$	$\frac{58}{32}$	$\frac{62}{28}$	$\frac{64}{26}$
Число двойных ходов в минуту n	54	69	86	105	120	145	166	190	216	250	300	345	420	470
Длина хода реза L в мм	Средняя скорость резания $v_{ср}$ в м/мин													
20	2,1	2,7	3,4	4,2	4,8	5,8	6,6	7,6	8,6	10	12	13,8	16,8	18,8
30	3,2	4,1	5,2	6,3	7,2	8,7	10	11,4	13	15	18	20,7	25,2	28,2
40	4,3	5,5	6,9	8,4	9,6	11,6	13,3	15,2	17,3	20	24	27,6	33,6	37,6
50	5,4	6,9	8,6	10,5	12,0	14,5	16,6	19	21,6	25	30	34,5	42	47,0
60	6,5	8,3	10,3	12,6	14,4	17,4	19,8	22,8	25,9	30	36	41,5	50,5	56,4
70	7,5	9,6	12	14,7	16,8	20,3	23,2	26,6	30,2	35	42	48,3	58,7	65,7
80	8,6	11,0	13,7	16,8	19,2	23,2	26,5	30,4	34,6	40	48	55,2	67	75,2
90	9,7	12,4	15,4	18,9	21,6	26,1	29,8	34,2	38,9	45	54	62	75,5	84,5

Сменные шестерни гитары деления

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{30}{z}$$

z	a	b	c	d	z	a	b	c	d	z	a	b	c	d
5		30			37	75	74	64		69	60	69	40	80
6		36			38	72	57			70		70		
7		42	90		39	64	52	50	80	71		71		
8	100	48		50	40		48	54		72		72		
9		45	75		41		41			73		73		
10		50	90	60	42		42			74		74	45	
11	80	44	75	50	43		43	45	90	75	60	75		
12	100	50			44		44			76		76		
13		52	80	60	45		45	40	80	77		77		
14	90	58			46		46			78		78		
15		54	60		47		47	45	90	79		79		90
16		64	80		48		48			80		80		
17		68		50	49	60	49			81	40	60	50	
18	75	63	70		50		50			82	60	82	45	
19		57	72	60	51		51			83		83		
20		60	60	50	52		52			84	50	70	45	
21	60	63	75		53		53			85	40	68	54	
22		66	72		54		54	40		86	45	86	60	
23		69			55		55			87	40	58	45	
24		72	50		56		56		80	88	30	66		80
25	64	56	63		57		57			89	40	89	60	
26		52	48	60	58		58			90		80		90
27	75	63	56		59		59			91	45	91		
28		56	48		60	48	60	50		92	40	69	45	80
29	75	58	48		61		61			93	36	62	50	90
30	64	80	75		62		62			94	50	47	30	100
31	75	62	64		63		63			95	45	57	40	
32	60	52	65		64	60	64	40		96	30	60	50	80
33		66		80	65		65			97	45	97	60	90
34	75	68	64		66		66			98	50	49	30	100
35		70			67		67			99	40	66	45	90
36	50	69	62	60	68		68			100	30	60	48	80

Настройка гитары деления. Передаточное отношение гитары деления определяется по формулам (59) и (60) или по табл. 44.

При двойном делении набор сменных колес берется из таблицы для числа зубьев, равного $\frac{z}{2}$.

Настройка гитары обкатки. Для некорригированных конических колес при расчете передаточного числа гитары обкатки допускается пользоваться формулами без учета угла ножки (γ) зубьев.

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{z}{75 \sin \varphi}$$

или при $\delta = 90^\circ$

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{\sqrt{z_{ш}^2 + z_{к}^2}}{75}$$

Настройка гитары качания люльки. Установкой люльки в нулевое положение (по шкале 4, см. рис. 84) располагают ось симметрии впадины воображаемого плоского колеса, воспроизводимого режущими кромками резцов, в горизонтальной плоскости. Углы отклонения люльки от этой оси отсчитываются вверх и вниз. Угол качания люльки вниз больше, чем вверх.

Эти углы определяются практически так, чтобы обкатка боковых поверхностей зуба была полной. Приблизительно суммарный угол качания вычисляется по формуле (57). Сменные шестерни гитары качания люльки выбираются по табл. 45.

Таблица 45

Сменные шестерни гитары угла качания люльки

Углы качания люльки в град			Сменные колеса	Углы качания люльки в град			Сменные колеса
выше центра	ниже центра	сумма углов		выше центра	ниже центра	сумма углов	
4,2	4,5	8,7	$\frac{24}{66}$	11,6	12,4	24	$\frac{45}{45}$
5,2	5,6	10,8	$\frac{28}{62}$	13,2	14,2	27,4	$\frac{48}{42}$
6,3	6,9	13,2	$\frac{32}{58}$	15,2	16,2	31,4	$\frac{51}{39}$
7,4	7,9	15,3	$\frac{35}{55}$	18,4	19,4	37,8	$\frac{55}{35}$
8,8	9,5	18,3	$\frac{39}{51}$	21	22,5	43,5	$\frac{58}{32}$
10,2	10,9	21,1	$\frac{42}{48}$	25,6	27,4	53	$\frac{62}{28}$

Во время чернового нарезания, когда станок работает без обкатки, люлька устанавливается в нулевое положение и фиксируется специальным замком, надеваемым на ведомый вал гитары качания.

Настройка гитары подач. Величина подачи зависит от скорости вращения распределительного барабана с канавкой b (рис. 83) и может быть увеличена или уменьшена независимо от числа двойных ходов резца в минуту.

Передаточное отношение гитары подач определяется из формулы (60).

$$i_{пер} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{12}{t}.$$

Время обработки зуба (t) задается набором сменных шестерен по табл. 46.

Т а б л и ц а 46

Сменные шестерни гитары подач $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{12}{t}$

t в сек	Сменные шестерни	t в сек	Сменные шестерни	t в сек	Сменные шестерни	t в сек	Сменные шестерни
7,6	$\frac{51}{39} \cdot \frac{48}{42}$ $\frac{58}{32} \cdot \frac{42}{48}$	13,5	$\frac{45}{45} \cdot \frac{42}{48}$ $\frac{51}{39} \cdot \frac{35}{55}$	24,5	$\frac{39}{51} \cdot \frac{35}{55}$ $\frac{45}{45} \cdot \frac{28}{62}$	48	$\frac{32}{58} \cdot \frac{28}{62}$ $\frac{35}{55} \cdot \frac{24}{66}$
9,0	$\frac{51}{39} \cdot \frac{45}{45}$ $\frac{58}{32} \cdot \frac{39}{51}$	15,5	$\frac{45}{45} \cdot \frac{39}{51}$ $\frac{39}{39} \cdot \frac{58}{58}$	28	$\frac{39}{51} \cdot \frac{32}{58}$ $\frac{42}{48} \cdot \frac{28}{62}$	60	$\frac{32}{58} \cdot \frac{24}{66}$ $\frac{20}{70} \cdot \frac{35}{55}$
10,5	$\frac{48}{42} \cdot \frac{45}{45}$ $\frac{55}{35} \cdot \frac{39}{51}$	18	$\frac{42}{48} \cdot \frac{39}{51}$ $\frac{48}{42} \cdot \frac{32}{58}$	34	$\frac{35}{55} \cdot \frac{32}{58}$ $\frac{39}{51} \cdot \frac{28}{62}$	73	$\frac{28}{62} \cdot \frac{24}{66}$ $\frac{20}{70} \cdot \frac{32}{58}$
12	$\frac{48}{42} \cdot \frac{42}{48}$ $\frac{51}{39} \cdot \frac{39}{51}$	21,5	$\frac{42}{48} \cdot \frac{35}{55}$ $\frac{45}{45} \cdot \frac{32}{58}$	41,5	$\frac{35}{55} \cdot \frac{28}{62}$ $\frac{39}{51} \cdot \frac{24}{66}$	93 114	$\frac{20}{70} \cdot \frac{28}{62}$ $\frac{20}{70} \cdot \frac{24}{66}$

Примечание. Для механизма подачи к станку прилагаются сменные шестерни ($m = 2,5$ мм) со следующим числом зубьев: 20; 24; 26; 28; 32; 35 (2 шт.); 39 (2 шт.); 42 (2 шт.); 45 (2 шт.); 48 (2 шт.); 51 (2 шт.); 55 (2 шт.); 58; 62; 64; 66; 70.

Эти шестерни предназначены также для механизмов главного движения и качания люльки.

Установка заготовки и делительной бабки. При установке заготовки необходимо соблюдать следующее: ось заготовки должна совпадать с осью шпинделя; вершина начального конуса нарезаемого колеса должна совпадать с центром станка.

В процессе установки заготовка с делительной бабкой перемещается вдоль своей оси, и окончательное положение бабки определяется по шкале 42 (рис. 85).

Размер A (рис. 80) равен толщине буртика оправки b плюс монтажная дистанция нарезаемого колеса k . Оправка должна быть проверена на радиальное и торцовое биение индикатором при ручном вращении шпинделя рукояткой, надеваемой на ведомый вал гитары деления. Муфта M_3 (рис. 81) должна быть расцеплена.

Установка поворотной плиты определяется углом конуса впадин колеса. Установка предварительно нарезанного колеса на станок для чистового нарезания должна производиться так, чтобы обеспечивалось равномерное распределение припуска по боковым сторонам зубьев. На станке имеется калибр разделения припуска, настройка которого производится по первому нарезанному колесу. После установки колеса калибр отводится в сторону.

Наладка станка заканчивается установкой счетчика на число нарезаемых зубьев и конечного микровыключателя, автоматически останавливающего станок после нарезания зубьев колеса.

Пример. Требуется нарезать коническое колесо от передачи с межосевым углом $\delta = 90^\circ$. Дано: число зубьев колеса $z = 40$; модуль $m = 5$ мм; материал — сталь 45; длина зуба $b = 60$ мм; высота зуба $h = 11$ мм; высота ножки зуба $h'' = 6$ мм; угол делительного конуса $\varphi_d = 24^\circ 14'$; угол конуса выступов $\varphi_e = 26^\circ 51'$; угол конуса впадин $\varphi_i = 21^\circ 6'$; угол ножки зуба $\gamma = 3^\circ 8'$; угол профиля инструмента $\alpha = 20^\circ$; длина образующей $L = 243,9$ мм.

Нарезание осуществляется за две операции: черновое со скоростью резания 18 м/мин и чистовое — 25 м/мин. Время обработки зуба при черновом нарезании 40 сек, при чистовом — 30 сек. Черновое нарезание производится методом двойного деления с припуском 1,2 мм на каждую сторону зуба.

Наладка станка для нарезания зубьев. Для *чернового нарезания зубьев* следует люльку и распределительный барабан установить в нулевое положение. Ролик 12 (рис. 75) вводится в канавку 9 на барабане для осуществления подачи.

Величина отвода стола с делительной бабкой устанавливается винтом 13 (рис. 75) и принимается на 1,5 мм больше высоты зуба.

$$l_1 = h + 1,5 \text{ мм} = 11,0 + 1,5 = 12,5 \text{ мм.}$$

Длина хода резцов с учетом перебега у наружного конца 5 мм и внутреннего 4 мм равна

$$l_2 = b + 4 + 5 = 60 + 4 + 5 = 69 \text{ мм.}$$

Число двойных ходов резцов в минуту определяем по формуле

$$n = \frac{1000 v_{\text{ср}}}{2l_2} = \frac{1000 \cdot 18}{2 \cdot 69} = 130 \text{ дв. ход/мин}$$

и уточняем по табл. 43. Принимаем число $n = 120$ дв. ход/мин, которому соответствуют сменные колеса гитары скоростей $A = 35$, $B = 55$.

Действительная скорость резания в этом случае

$$v_{cp} = \frac{2l_2 n}{1000} = \frac{2 \cdot 69 \cdot 120}{1000} = 16,6 \text{ м/мин.}$$

Сменные колеса гитары деления при черновом нарезании по способу двойного деления без обкатки определяем из формулы

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{60}{z} = \frac{60}{40} = \frac{75}{60} \cdot \frac{60}{50}; \quad a = 75; \quad b = 60; \quad c = 60; \quad d = 50.$$

То же получим и из табл. 39, в которой сменные колеса берем при двойном делении не для $z = 40$, а для $z = 20$.

Цикл обработки зуба по заданию — 40 сек.

Такая подача обеспечивается сменными колесами, определяемыми из табл. 46.

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{39}{51} \cdot \frac{24}{66}; \quad a_1 = 39; \quad b_1 = 51; \quad c_1 = 24; \quad d_1 = 66.$$

Так как при черновом нарезании по способу двойного деления обкатка и качание люльки не происходят, то на гитаре обкатки оставляют какой-нибудь набор сменных колес или устанавливают заранее подобранный набор для последующего чистового нарезания. На ведомый вал гитары угла качания люльки надевают хомут с целью предупреждения случайного смещения люльки.

Для чистового нарезания зубьев станок переналаживается следующим образом: распределительный барабан (подачи) вновь устанавливается в нулевое положение. Второй ролик кулисы (рис. 75) вводится в канавку 8 барабана, предназначенную для чистового нарезания. Величина отвода стола и длины хода резцов остаются прежние, т. е. как и для чернового нарезания.

Суппорты устанавливаются под углом, определяемым по формуле (68).

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{57,296 \left(\frac{s_d}{2} + h'' \operatorname{tg} \alpha \right)}{L \cos \gamma} = \frac{57,296 \left(\frac{3,14 \cdot 5}{2} + 6 \cdot 0,364 \right)}{243,9 \cdot \cos 3^\circ 8'} = \\ &= \frac{57,296 (7,85 + 2,184)}{243,9 \cdot 0,99844} = \frac{574,9}{243,52} = 2,32^\circ = 2^\circ 19'. \end{aligned}$$

Число двойных ходов резцов в минуту при $v_{cp} = 25 \text{ м/мин.}$

$$n = \frac{1000 v_{cp}}{2l_2} = \frac{1000 \cdot 25}{2 \cdot 69} = 181 \text{ дв. ход/мин.}$$

Ближайшее число ходов резцов в минуту на станке, согласно табл. 43, будет 190, чему соответствуют сменные колеса гитары скоростей $\frac{A}{B} = \frac{45}{45}$. Действительная скорость резания

$$v'_{cp} = \frac{2l_2 n'}{1000} = \frac{2 \cdot 69 \cdot 190}{1000} = 26,3 \text{ м/мин.}$$

Сменные колеса гитары деления рассчитываются по формуле (59)

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{30}{z} = \frac{30}{40} = \frac{60}{48} \cdot \frac{54}{90}$$

или же принимаются по табл. 44.

Сменные колеса гитары обкатки рассчитываются по формуле (62).

$$i_{обк} = \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{z \cos \gamma}{75 \sin \varphi_d} = \frac{40 \cos 3^\circ 8'}{75 \sin 24^\circ 14'} = \frac{40 \cdot 0,99850}{75 \cdot 0,41045} = 1,29742; [12]$$

$$\frac{1}{i_{обк}} = \frac{1}{1,29742} = 0,7707604 = \frac{891}{1156};$$

$$i_{обк} = \frac{1156}{891} = \frac{68 \cdot 17}{33 \cdot 27} = \frac{68 \cdot 34}{33 \cdot 54};$$

$$a_3 = 68; \quad b_3 = 34; \quad c_3 = 33; \quad d_3 = 54.$$

При чистовом нарезании хомут, надетый на ведомый вал гитары угла качания люльки, снимается.

Сменные колеса e и f угла качания люльки предварительно определяют расчетом, исходя из формулы (62), а затем при настройке опытным путем выбирают угол θ° . По расчету

$$\begin{aligned} \theta^\circ &= 2 \left[\frac{355,3 \frac{h''}{m} + 90}{z} - 0,8 \right] \sin \varphi_d = \\ &= 2 \left[\frac{355,3 \cdot 1,2 + 90}{40} - 0,8 \right] 0,41045 = 9,95^\circ. \end{aligned}$$

Решая уравнения (62), получим:

$$\frac{e}{f} = \frac{9,95}{24}; \quad e + f = 90; \quad f = 63,6; \quad e = 26,4;$$

ближайшие целые числа зубьев в наборе 62 и 28, которые и принимаем при настройке.

По табл. 45

$$\theta^\circ = 10,8^\circ; \quad \frac{e}{f} = \frac{28}{62}; \quad e = 28; \quad f = 62.$$

Сменные колеса гитары подач определяем по табл. 46 при заданном цикле чистовой обработки одного зуба, равном $30''$.

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{42}{48} \cdot \frac{28}{62};$$

$$a_1 = 42; \quad b_1 = 48; \quad c_1 = 28; \quad d_1 = 62.$$

28. УХОД ЗА ЗУБОРЕЗНЫМИ СТАНКАМИ

Из всех известных нам методов образования зубьев наиболее распространенными являются методы нарезания зубьев на металлорежущих станках. Это объясняется тем, что на металлорежущих станках достигается высокая точность, которую не удастся получить при других методах образования зубьев.

Сохранение точности станков в процессе их эксплуатации является одной из важнейших задач. Нарушение точности во взаимном расположении направляющих суппортов, биение шпинделя и стола станка, ошибки в делительной паре (червяк — червячное колесо) и др. являются причиной погрешностей в нарезаемом колесе.

Разработаны государственные нормы точности для зубофрезерных (ГОСТ 659—53), зубодолбежных (ГОСТ 658—56)

и зубострогальных станков (ГОСТ 9153—59). Этими нормами предусматриваются методы и средства проверки станков на точность.

Все сведения о станке, его настройке, достижимой точности, правильной эксплуатации приводятся в прилагаемых к станку инструкции или паспорте.

Важнейшими данными в паспорте станка для рабочего-зуборезчика являются: основные размеры станка, схема управления станком, наличие принадлежностей и приспособлений к нему, способы расчета настройки, рекомендуемые заводом-изготовителем режимы работы, достижимая точность на станке и правила ухода за станком. Все изменения, связанные с ремонтом и модернизацией станка, заносятся в паспорт станка. После установки или ремонта станок испытывается под нагрузкой или на холостом ходу. При испытании на холостом ходу проверяют:

- а) правильность действия всех органов управления;
- б) работу автоматических устройств, делительных механизмов, упоров, а также мертвый ход у винтов;
- в) систему подачи смазочной и охлаждающей жидкости;
- г) систему электрооборудования на безотказный пуск и остановку, на действие защитных и аварийных блокировок, конечных выключателей и т. д.

Кроме этого, последовательно включают рабочие скорости, начиная с низкой и кончая высокой. При этом после получасовой работы температура подшипников не должна превышать 70—80° С, а в механизмах скоростей 50° С.

Важным этапом правильной эксплуатации станка является подготовка станка к работе. Прежде всего проверяется состояние поверхности стола, посадочных мест станка, оправок для заготовок, приспособлений и принадлежностей. Следует тщательно проверять изготовление оправок для инструмента, а также установку оправок, инструмента и заготовок. Заготовка должна быть установлена жестко и, как правило, для точных колес без биения.

Точность станка, его производительность и долговечность работы зависят от ухода за ним, поэтому до начала работы необходимо тщательно осмотреть станок и проверить положение рукояток. Удалить со станка посторонние предметы, очистить его, смазать трущиеся части и убедиться, что масло попадает в надлежащие места. Затем опробовать станок вручную и потом пустить его вхолостую. Во время работы станка нельзя производить его чистку, класть на него ключи, заготовки и пр. В случае обнаружения стука в станке, нагревания подшипников, заедания деталей и других неисправностей необходимо остановить станок и вызвать работника, ответственного за оборудование.

После окончания работы необходимо выключить ток, снять режущий инструмент, произвести тщательную уборку и очистку станка от стружки, протереть его насухо, смазать ручной масляной направляющие станин, суппорт и т. п.

29. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ

В процессе обработки детали должна быть соблюдена строгая последовательность операций, предусмотренная в картах технологического процесса. Исходными данными для составления карт технологического процесса являются: чертеж детали с техническими условиями, которым должна удовлетворять деталь после обработки, а также сведения о количестве деталей, подлежащих изготовлению, оборудовании, режущем и контрольно-измерительном инструментах.

Технологический процесс механической обработки зубчатых колес делится на два этапа.

Первый этап включает следующие операции по изготовлению заготовки зубчатого колеса: предварительная токарная обработка; обработка цилиндрического, конического или шлицевого отверстия у деталей класса «втулки»; чистовая токарная обработка. Требования, предъявляемые к заготовке зубчатого колеса, определяются точностью выполнения базовых поверхностей.

Исходные поверхности детали, определяющие ее положение на станке во время обработки или при работе в машине, называются *базами*. Различают три вида баз:

- 1) конструктивные базы определяют положение детали в машине по отношению к другим деталям;
- 2) технологические базы определяют положение детали на станке относительно режущего инструмента;
- 3) контрольные базы определяют положение детали при проверке.

Необходимо стремиться к тому, чтобы все три базы совпадали. Это означает, что обработку детали и измерение ее должны производиться от той поверхности, которая определяет положение детали в машине, что не всегда достижимо. Совпадение технологических и контрольных баз должно выполняться во всех случаях механической обработки.

У деталей класса «вала» обработка производится с базированием на центровые отверстия. Для деталей класса «втулки» очень важно при чистовой обработке соблюдать строгую перпендикулярность торцов к оси центрального отверстия. Невыполнение этого требования приводит к перекосу заготовки при закреплении ее на зубообрабатывающем станке, что может являться причиной погрешности радиального биения зубчатого венца и искажения формы и положения пятна контакта.

Шероховатость поверхностей, используемых в качестве технологических баз при зубообработке, независимо от требований чертежа должна быть не грубее 5—6-го класса по ГОСТу 2789—59.

Второй этап механической обработки включает операции зубообработки и зубоотделки, а также операции чистовой механиче-

ской обработки базовых поверхностей зубчатых колес, подвергающихся термической или химико-термической обработке.

Технологический маршрут изготовления колес и процесс зубообработки зависят от следующих факторов:

1) твердость зубчатых венцов влияет на метод окончательной обработки зубьев, причем в зависимости от заданной твердости зубчатые колеса могут быть обработаны непосредственно на зубофрезерных станках или шлифованием;

2) точность зубчатых колес определяет требования, предъявляемые к оборудованию, заготовке, оснастке и средствам контроля;

3) размер зубчатых колес влияет на выбор оборудования и средства контроля; конструкция колес определяет метод зубообработки, оборудование, оснастку;

4) наличие оборудования и средств контроля на данном предприятии и т. д.

Технологический маршрут изготовления колес общего машиностроения с твердостью $HV \leq 350$ состоит из таких операций: зубонарезание; зачистка заусенцев; контроль или зубонарезание; контроль; закругление торцов; шевингование; зачистка заусенцев; контроль.

Более сложным и длительным является маршрут второго этапа изготовления зубчатых колес, подвергающихся термической или химико-термической обработке. Появляется необходимость операций шлифования базового отверстия и торцов, шлифования зубьев, операций промежуточного контроля. Для зубчатых колес, применяемых в станках, автомобилях, тракторах, угольных, текстильных и других машинах с твердостью зубьев $HV \geq 350$, достигаемой цементацией с последующей закалкой, при точности колес 7—8-й степени отделка зубьев (шевингование) производится до термической обработки. Так как деформации зубчатых колес в основном происходят в процессе цементации, а при закалке они относительно малы и не превышают пределов 7—8-й степени точности, то цементацию можно производить до шевингования зубьев, а закалку — после шевингования.

Нагрев зубчатых колес после шевингования под закалку, как правило, производят токами высокой частоты. Таким образом, технологический маршрут второго этапа изготовления зубчатых колес из цементируемых сталей с твердостью зубьев $HV \geq 350$ с применением шевингования включает: зубонарезание; контроль; закругление зубьев или снятие фасок; цементацию (с защитой базового отверстия); шевингование; контроль; закалку; калибрование базового отверстия; контроль. В необходимых случаях в технологический маршрут вводится притирка или обкатка как завершающая отделочная операция зубьев.

Зубчатые колеса из сталей 20Х, 18ХГТ, 12ХНЗА, 20Х2Н4А и 18ХНВА могут изготавливаться по упрощенному маршруту: зубонарезание; закругление зубьев или снятие фасок; шевинго-

вание; контроль; термическая обработка; калибрование базового отверстия; контроль.

Применение упрощенного маршрута требует увеличения точности обработки базовых поверхностей на первом этапе технологического процесса, тщательно отработанной технологии термической обработки, причем закалка производится в ванне или в прессах.

Для колес высоких степеней точности (5—6-й степени), изготавливаемых с большой твердостью, единственным методом чистовой обработки зубьев, позволяющим устранить погрешности зубообработки и термической обработки, является шлифование.

Технологический маршрут изготовления зубчатых колес по второму этапу с применением зубошлифования: зубонарезание; контроль; термическая обработка — цементация; механическая обработка — снятие слоя цементации с незакаливаемых поверхностей детали; термическая обработка — закалка и отпуск; шлифование базового отверстия и торцов; зубошлифование; окончательный контроль. В табл. 47 приведены некоторые варианты обработки зубьев цилиндрических колес.

Второй этап обработки конических зубчатых колес имеет два основных типовых маршрута. Первый маршрут применяется для колес с твердостью зубьев $HRC \geq 48$ и предусматривает получение заданной точности шлифованием зубьев. Технологический маршрут в этом случае включает: зубонарезание; контроль; цементацию; механическую обработку — снятие слоя цементации с незакаливаемых поверхностей; закалку и отпуск; шлифование базового отверстия и торцов; калибрование шлицев; зубошлифование; окончательный контроль. Процесс шлифования зубьев конических колес характеризуется низкой производительностью, поэтому его целесообразно применять для отделки колес 5—6-й степени точности и в некоторых случаях при индивидуальном производстве — колес 7-й степени точности.

Второй типовой технологический маршрут изготовления конических зубчатых колес применим для колес с твердостью $HB \leq 350$ и с твердостью $HRC \geq 48$. При этом точность элементов зацепления определяется результатами чистового нарезания и деформациями в случае применения термической обработки. В качестве отделочной операции для твердых колес применяют притирку, а для мягких — прикатку. Примерный маршрут изготовления конических колес из цементируемых сталей без применения шлифования: зубонарезание; контроль; цементация; механическая обработка — снятие слоя цементации с незакаливаемых поверхностей; закалка и отпуск; шлифование базового отверстия и торцов; калибрование шлицев; притирка; окончательный контроль.

Весьма важной операцией второго этапа обработки зубчатых конических колес является операция восстановления или создания конструктивных баз. Этой операцией обеспечиваются

**Рекомендуемые варианты обработки зубьев цилиндрических колес
при мелкосерийном и индивидуальном производстве**

Исходные данные				Типовые варианты зубообработки		
Тип колес	Модуль	Степень точности		Нарезание зубьев		Отделка зубьев
		без за- калки	с закал- кой	черновое	чистовое	
Колеса с открытыми и врезными венцами	До 5	6 7—11 6—7	6—8 7—9 7—8	— — Червячной фрезой	Червячной фрезой	Шлифование — —
	5—10	6 6—11	6—8 7—9	Червячной фрезой	Червячной фрезой	Шлифование —
	10—15	6—7 6—11 8—11	6—8 7—9 8—9	Червячной фрезой То же Модульной фрезой	Червячной фрезой	Шлифование — —
	Св. 15	8—9 7—9 9—11	8—9 7—9 —	Модульной фрезой Червячной фрезой Модульной фрезой	Червячной фрезой То же Модульной фрезой	— — —
Колеса с закрытыми венцами	До 5	7—11 7	7—9 7—8	— Долбление	Долбление	— —
	5—10	7—11	7—9	Долбление	Долбление	—
	Св. 10	7—11 9—11	7—9 —	Долбление Модульной фрезой	Долбление Модульной фрезой	— —

концентричность базовых поверхностей зубчатого венца и правильность положения монтажных торцов.

В мелкосерийном и индивидуальном производстве у заготовок зубчатых колес перед термообработкой делают дополнительные точные торцовые и радиальные поверхности, по которым в последующих операциях выверяют деталь индикатором. При изготовлении конических колес крупными партиями применяют приспособления с базированием по конусам выступов или впадин, либо по боковым поверхностям зубьев, а также по боковым поверхностям зубьев и торцу. Все операции по обработке зубчатых колес должны фиксироваться в картах технологического процесса, где

Завод	Инструкция по нарезке зубьев		Чертеж №	
Отдел главного технолога			Лист	Листов
Данные чертежа				
Число зубьев		Диаметр окружности выступов		
Модуль нормальный		Диаметр делительной окружности		
Угол наклона спирали		Направление спирали		
Данные о фрезе				
	Черновая фреза		Чистовая фреза	
№ чертежа				
Число заходов				
Угол подъема спирали				
Данные о настройке зубофрезерного станка				
Фирма	Модель		Инв. №	
		Черновой проход	Чистовой проход	
Угол установки фрезерного суппорта				
Набор сменных колес	Гитары деления			
	Гитары дифференциала			
	Гитары подач			
	Гитары скоростей			
Число оборотов фрезы в минуту				
Подача в мм/об изделия				
Глубина фрезерования				
Угол наклона зуба (по настройке станка)				
Отклонение угла наклона зуба (по настройке станка)				
Приспособления				
Наименование		№ чертежа		
Установка зубчатого колеса на приспособление				
Примечание. Отклонение в угле наклона зуба для сопряженных шестерни и колеса должно быть одинаковым по знаку и величине.				
Инструкцию за- полнил технолог ОГТ	Фамилия, имя, отчество	Подпись	Дата	

указываются сведения о заготовке, последовательность операций, установок и переходов, режимы обработки, необходимые для обработки время, оборудование, инструмент и оснастка, методы и средства контроля. К картам операций зубообработки прилагается инструкционная карта наладки станка (форма 1).

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА

30. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

На промышленных предприятиях применяют несколько систем оплаты труда: сдельную, сдельно-прогрессивную, повременную и др.

Прямая сдельная система состоит в том, что оплата производится за каждую единицу сделанной рабочим продукции. Чем больше зуборезчик сделает годных зубчатых колес, тем больше будет его заработная плата. Такой порядок оплаты создает непосредственную заинтересованность зуборезчика в повышении производительности, рациональном использовании времени и оборудования. Прямая сдельная оплата является основной формой заработной платы в машиностроении.

Сдельно-прогрессивная система заключается в том, что определенная норма выработки оплачивается по сдельным расценкам, а затем обработка каждого последующего колеса оплачивается по новой повышенной и прогрессивно-возрастающей расценке. В этом случае роль заработной платы в повышении производительности труда усиливается.

Повременная система оплаты труда вводится на тех участках работы, где не может быть внедрена сдельная система, например, на различного рода вспомогательных работах по ремонту инструмента, оборудования, наладке станков, а также в основном производстве при неустановившейся номенклатуре изделий. В таких случаях труд оплачивается по затраченному количеству времени, а в сочетании с премиальной оплатой эта форма оплаты способствует уплотнению рабочего дня, улучшению качества работ.

Основой организации заработной платы является тарифная система, элементами которой являются тарифная ставка, тариф и тарифно-квалификационный справочник.

В отдельных отраслях промышленности, например в машиностроительной, нефтяной, газовой и др., установлены шесть рядов работы с соответствующими коэффициентами по каждому разряду:

Разряды	I	II	III	IV	V	VI
Коэффициенты	1,0	1,13	1,29	1,48	1,72	2,0

Таким образом, часовая оплата рабочего любого разряда определяется тарифной ставкой первого разряда, умноженной на коэффициент разряда рабочего.

Тарифные ставки для 1-го разряда в различных отраслях промышленности различны. На машиностроительных заводах для рабочих устанавливаются три-четыре тарифные ставки 1-го разряда: для повременщиков на холодных работах; для повременщиков на горячих и тяжелых работах; для сдельщиков на холодных работах; для сдельщиков на горячих и тяжелых работах.

Разряд рабочего устанавливается в соответствии с тарифно-квалификационным справочником, в котором точно указано, что должен знать и что должен уметь делать рабочий каждого разряда по определенной специальности.

31. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

Для применения сдельной оплаты необходимо определить затраты времени на операцию, т. е. норму времени, или время для выполнения какой-либо операции в нормальных условиях.

Количество деталей, обработанных за определенный отрезок времени (час, смену и т. д.), составляет норму выработки, т. е. величину, обратную норме времени.

$$H_s = \frac{7 \cdot 60}{T_{шт}} = \frac{420}{T_{шт}} \text{ деталей в смену,}$$

где $T_{шт}$ — штучное время в мин.

Из формулы видно, что для увеличения нормы выработки надо, чтобы уменьшилось штучное время.

На заводах сдельная оплата труда производится по техническим и по опытно-статистическим нормам.

Техническая норма времени определяется расчетным путем. Техническая норма калькуляционного времени складывается из штучного ($T_{шт}$) и подготовительно-заключительного времени ($T_{п.з}$).

Подготовительно-заключительное время затрачивается на ознакомление с заданием, чертежом, операционной картой, на наладку станка, установку и съём приспособления, оформление и сдачу обработанных деталей и приведение станка в исходное состояние. Это время зависит не от числа изготавливаемых деталей, а от сложности наладки оборудования, поэтому подготовительно-заключительное время дается на всю партию нарезаемых деталей.

Штучное время состоит из технологического (основного) времени T_o , вспомогательного ($T_{всп}$), времени на обслуживание рабочего места ($T_{обс}$) и времени на отдых и естественные потребности ($T_{отд}$), т. е.

$$T_{шт} = \underbrace{T_o + T_{всп}}_{\text{оперативное}} + \underbrace{T_{обс} + T_{отд}}_{\substack{\text{5—6\% от опе-} \\ \text{ративного}}}$$

Основное время — это время, которое требуется для обработки зубьев на заготовке путем снятия стружки. Оно определяется расчетом по формулам, приведенным в табл. 48.

Вспомогательное время — это время, расходуемое на установку, крепление, снятие детали, управление станком, измерение и холостые перемещения инструмента, проверку и укладку деталей в тару и т. п. При расчетах вспомогательное время определяется по нормативам [15].

Сумма технологического (основного) и вспомогательного времени называется оперативным временем.

Время обслуживания затрачивается на смену затупившегося инструмента, регулирование и подналадку станка во время работы, смазку и чистку станка, уборку стружки, на уход за рабочим местом в течение смены. Это время принимается в размере 3—4% от оперативного времени.

Время перерывов на отдых и личные нужды принимается при расчетах обычно в 2% от оперативного времени.

Зная состав технической нормы и проанализировав каждый элемент в отдельности, можно составить план организационных и технических мероприятий по снижению затрат рабочего времени и повышению производительности труда.

Расчетный метод, применяемый для определения нормы времени на операцию, является, кроме того, фактором совершенствования технологических процессов, улучшения организации рабочего места и повышения производительности труда.

Пример 1. Определить основное время для нарезания на зубофрезерном станке 5Е32 косозубого цилиндрического колеса. Дано: $m = 4$ мм; $z = 40$; $b = 40$ мм; $\beta_d = 30^\circ$. Нарезание черновое. Одновременно обрабатываются четыре заготовки.

По стандарту 9324—60 берем червячную фрезу из стали Р18 с наружным диаметром $D_n = 80$ мм, $m = 4$ мм, двухзаходную, класса точности С. Направление подъема витка фрезы и зуба нарезаемого колеса одноименные.

Нарезание производим за один проход. Глубина резания $t = h$ (черновые червячные фрезы прорезают впадины на полную глубину, но оставляют припуск на толщину зуба под чистовую обработку); $h = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 4 = 10$ мм.

Подачу для двухзаходной фрезы выбираем по табл. 33: $s = 1,2 + 1,4$ мм/об; принимаем верхний предел, так как $z > 25$. Корректируем величину подачи, учитывая поправочные коэффициенты на твердость материала ($k_m = 0,9$) и угол наклона зубьев и витков ($k_\theta = 0,8$).

$$s_g = 1,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 1,08 \text{ мм/об.}$$

Принимаем по паспорту станка $s_g = 1$ мм/об.

По табл. 33 $v = 42$ м/мин, учитывая поправочные коэффициенты на ст. 45, НВ 170—207 $k_m = 0,8$ и $k_\beta = 0,9$, получим

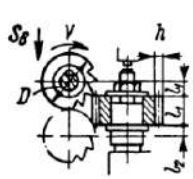
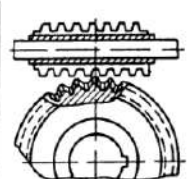
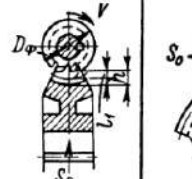
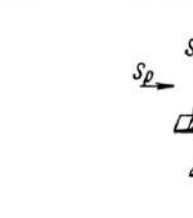
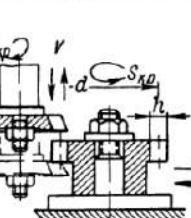
$$v' = 42 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 30,24 \text{ м/мин.}$$

Определяем скорость вращения фрезы

$$n_\phi = \frac{1000v'}{\pi D_n} = \frac{1000 \cdot 30,24}{3,14 \cdot 80} = 121 \text{ об/мин;}$$

корректируем по паспорту станка и принимаем $n'_\phi = 125$ об/мин.

Таблица 48

Зубофрезерование		
Подачи		
s_g в мм/об стола	s_p в мм/об стола	s_o в мм/об стола
		
Расчетные формулы для определения основного времени (T_o в мин)		
$T_o = \frac{(l_1 + l_2) \cdot z}{s_g n_{\phi k}}$	$T_o = \frac{3 \pi z}{s_p n_{\phi k}}$	$T_o = \frac{2,94 \pi \sqrt{z} z}{s_o n_{\phi k}}$
Зубодолбление		Зубострогание
Подачи		
s_p в мм/дв ход	$s_{кр}$ в мм/дв ход	t сек на обработку одного зуба
		
Расчетные формулы для определения основного времени (T_o в мин)		
$T_o = \frac{h}{s_p n} + \frac{\pi m z}{s_{кр} n} n_o$		$T_o = \frac{t z}{60}$
Обозначения: l — длина нарезаемого зуба в мм; l_1 — величина врезания фрезы (1,1—1,3) $\sqrt{h(d_{\phi} - h)}$ мм; l_2 — величина перебега фрезы в мм ($l_2 = 2-3$ мм); h — глубина впадины в мм; z — число зубьев нарезаемого колеса; k — заходность фрезы; m — модуль нарезаемого колеса; s_p — радиальная подача за двойной ход долбяка в мм, а при зубофрезеровании — за один оборот стола с заготовкой; $s_{кр}$ — круговая подача за двойной ход долбяка в мм; s_g — вертикальная подача; n — число двойных ходов долбяка в минуту; n_o — число обкатов (проходов); s_o — тангенциальная подача за один оборот заготовки в мм; t — время обработки одного зуба в сек; n_{ϕ} — число оборотов фрезы в минуту.		

Действительная скорость резания будет

$$v_{\partial} = \frac{\pi D_n n'_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 125}{1000} = 31,4 \text{ м/мин.}$$

Основное время

$$T_o = \frac{(l_1 + l + l_2)}{s_{\phi} n'_{\phi} k} = \frac{(23,9 + 4,40 + 2) \cdot 40}{1 \cdot 125 \cdot 2} = 29,4 \text{ мин.}$$

Таким образом, на одну шестерню основное (технологическое) время составит

$$T_o = \frac{29,4}{4} = 7,45 \text{ мин}$$

Пример 2. Определить основное время для нарезания прямозубого колеса на зубодолбежном станке модели 514. Дано: $m = 4 \text{ мм}$; $z = 45$; $b = 45 \text{ мм}$. Обработка с чистой поверхности $\nabla 6$ при предварительно нарезанном колесе. Припуск на обработку $1,2 \text{ мм}$. Материал — сталь 20Х, HB 170—207.

В качестве режущего инструмента выбираем долбяк $m = 4 \text{ мм}$ из стали Р18. Режим резания: подача $s_{кр} = 0,22—0,25 \text{ мм/дв. ход}$. Учитывая поправочный коэффициент на материал $k_m = 0,9$ и принимая верхний предел при $z > 25$, получим $s_{кр} = 0,9 \cdot 0,25 = 0,225 \text{ мм/дв. ход}$; корректируя по паспорту данного станка, принимаем окончательно

$$s'_{кр} = 0,21 \text{ мм/дв. ход.}$$

Величина радиальной подачи при врезании $s_p = (0,1—0,3) s'_{кр}$:

$$s'_p = 0,2 \cdot 0,21 = 0,042 \text{ мм/дв. ход.}$$

Скорость резания после предварительного нарезания зуба при требуемой чистоте поверхности $\nabla 6$ и круговой подаче $s_{кр} = 0,2 \text{ мм/дв. ход}$ $v_{таб.} = 39 \text{ м/мин.}$ Учитывая поправочный коэффициент на сталь 20Х $k_m = 0,9$, получим

$$v_u = 0,9 \cdot 39 = 35 \text{ м/мин.}$$

Число двойных ходов долбяка

$$n = \frac{1000v}{2z} = \frac{1000 \cdot 35}{2 \cdot 41,5} = 422 \text{ дв. ход/мин.}$$

$$L = b + 2l_1 = 35 + 6,5 = 41,5 \text{ мм.}$$

Корректируем по паспорту станка и принимаем $n' = 359 \text{ дв. ход/мин.}$ Действительная скорость резания будет:

$$v_{\partial} = \frac{2Ln'}{1000} = \frac{2 \cdot 41,5 \cdot 359}{1000} = 29,8 \text{ м/мин.}$$

Основное время определится из формулы табл. 48:

$$T_o = \frac{h}{s'_p n'} + \frac{\pi m z}{s'_{кр} n'} n_o = \frac{1,2}{0,042 \cdot 359} + \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 45}{0,21 \cdot 359} = 1,08 + 7,52 = 7,6 \text{ мин.}$$

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ЗУБОРЕЗЧИКА

Станки для зубообработки имеют свои постоянные принадлежности, вспомогательный инструмент и установочно-крепежные приспособления. К числу неотъемлемых принадлежностей тяжелых универсальных зубофрезерных станков относятся сменные суппорты для работы с тангенциальной подачей, дисковой или пальцевой фрезой, задние стойки для дополнительного крепления валов-шестерен и нормализованная оснастка.

Каждый зуборезный станок имеет большое количество сменных колес, требующихся для настройки станка. С целью быстрого нахождения их необходимо хранить в специальной тумбочке с ячейками, на которых указаны число зубьев и модуль. В этой же тумбочке или в другой хранится вспомогательный и измерительный инструмент, техническая документация, причем чертежи, необходимые для данной работы, обычно укрепляются на планшете, которая крепится к тумбочке. Такая тумбочка показана на рис. 88.

Для хранения режущего инструмента и приспособлений применяются специальные стеллажи. Для хранения в кладовой червячных фрез и резцов пользуются шкафами с соответствующими ячейками для каждого инструмента; для долбяков применяют наклонно установленную доску с деревянными штырями, на которые надевают инструмент. У каждого штыря должна быть маркировка, характеризующая параметры надетаго на него инструмента. Фрезерные оправки необходимо хранить на специальных стеллажах в подвешенном состоянии во избежание их деформирования.

Для смазывания движущихся частей станка масло следует брать из специального бачка, в котором оно предварительно отстаивается и очищается через фильтр.

Все необходимые приспособления следует располагать на рабочем месте так, чтобы обеспечить минимальные затраты труда и рабочего времени по обслуживанию станка.

Работа на полуавтоматических зуборезных станках с быстродвижущимся инструментом при использовании в качестве охлаждающих жидкостей масел и

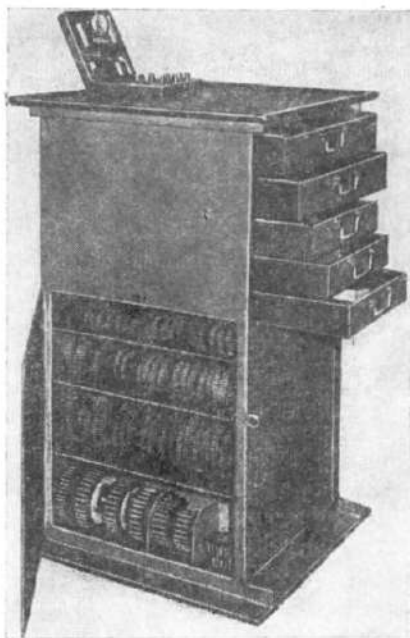


Рис. 88. Тумбочка к зуборезному станку

эмульсий в больших количествах связана с опасностью для рабочих, обслуживающих станок. Эта опасность возрастает при многостаночном обслуживании.

Уборка стружки из-под режущего инструмента во время работы станка недопустима, а при остановленном станке должна производиться с помощью совков и металлических щеток в специальные ящики с сетчатым дном для отделения масла от стружки. Пол около станка должен быть чистым, сухим и нескользким; если же на него попало масло или эмульсия, его следует немедленно вытереть.

Установка детали или приспособления на станке вручную должна производиться с осторожностью, а тяжелые детали следует устанавливать с помощью подъемных средств.

Одежда рабочего должна быть просторной и удобной, не иметь концов и завязок во избежание захвата их движущимися частями станка; у женщин волосы должны быть убраны под косынку.

Устранение неисправностей в электрооборудовании должно выполняться только электромонтером.

В связи с тем, что в качестве охлаждающей жидкости на зубообрабатывающих станках применяются воспламеняющиеся минеральные масла, следует обращать особое внимание на меры противопожарной безопасности. Причиной воспламенения может стать брошенный в промасленную стружку окуроч или зажженная спичка.

Обтирочные материалы (тряпки, салфетки, концы) необходимо хранить в железных ящиках с крышками, а использованные не должны находиться на рабочем месте. Причиной пожара может быть также неисправное электрооборудование станка, короткое замыкание, перегрев электродвигателей и т. п., поэтому зуборезчик должен постоянно следить за исправностью электрооборудования и своевременно сигнализировать специальным службам о неисправностях.

Зуборезчик должен уделять также внимание личной гигиене, так как во время работы на его руки, а иногда и лицо попадают капли масла и мелкая иглообразная стружка, что может вызвать появление масляных угрей и гнойничковых заболеваний.

Помимо выполнения общеизвестных норм гигиены зуборезчику необходимо внимательно следить за своей спецодеждой. После работы следует развесить спецодежду в шкафу для просушки; надо также регулярно сдавать ее в стирку.

ЛИТЕРАТУРА

1. А чер кан Н. С. Металлорежущие станки, Т. I, М., изд-во «Машиностроение», 1965.
2. А дам А. И., О в у мя н Г. Г. Справочник зубореза, М., изд-во «Машиностроение», 1964.
3. Б у р ш т е й н И. Е. и др. Механизация снятия заусенцев и фасок на зубчатых колесах, М., изд-во «Машиностроение», 1966.
4. Б у р ш т е й н И. Е. Высокопроизводительные методы зубозакругления, М., Машгиз, 1963.
5. Голованов Н. Ф., Гинзбург Е. Г., Фирун Н. Б. Зубчатые и червячные передачи. Справочник, изд-во «Машиностроение», Л., 1967.
6. К а л а ш н и к о в С. Н. и др. Производство зубчатых колес. Справочник, М., Машгиз, 1963.
7. К е д р и н с к и й В. Н., П и с м а н и к К. М. Станки для нарезания конических зубчатых колес, М., Машгиз, 1958.
8. К о л ч и н Н. И. и др. Основные сведения о зубчатых передачах и зацеплениях, М.—Л., Машгиз, 1962.
9. М е р ч а н с к и й Д. П. Зуборезное дело, Л., Машгиз, 1962.
10. М и ц е н г е н д л е р М. Л. Расчет и примеры наладок зубострогальных станков для нарезания конических колес, Л., Машгиз, 1962.
11. Научная организация труда на рабочих местах. Изд. ВЦСПС, Профиздат, 1965.
12. С а н д а к о в В. М. Таблицы для подбора шестерен, Москва—Свердловск, Машгиз, 1960.
13. Т а й ц Б. А., М а р к о в Н. Н. Нормы точности и контроль зубчатых колес, М., Машгиз, 1962.
14. Т р о ф и м о в А. М. Альбом металлорежущих станков, Ч. II, Москва—Киев, Машгиз, 1962.
15. Техническое нормирование на машиностроительном заводе, М., изд-во «Машиностроение», 1964 (Центральное бюро промышленных нормативов по труду).
16. Ш а в л ю г а Н. И. Расчет и примеры наладок зубофрезерных и зубодолбежных станков, М.—Л., Машгиз, 1963.
17. Я к о б с о н М. О. Технология станкостроения, М., изд-во «Машиностроение», 1966.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Условные обозначения	4
Г л а в а I. Основные сведения о зубчатых передачах	5
1. Классификация зубчатых передач	—
2. Передачи с цилиндрическими прямозубыми колесами	7
3. Передачи с косозубыми цилиндрическими колесами и внешним зацеплением	24
4. Передачи с коническими зубчатыми колесами	27
5. Червячные передачи	31
6. Коэффициент полезного действия зубчатых передач	35
7. Материалы для изготовления зубчатых колес	—
8. Оформление рабочих чертежей зубчатых колес	38
Г л а в а II. Методы образования зубьев и зуборезный инструмент	40
9. Обработка зубьев резанием	—
10. Формообразование зубьев методами пластической деформации материала	46
11. Отделка зубчатых колес	49
12. Зуборезный инструмент	61
13. Режимы резания при изготовлении зубчатых колес	76
14. Допуски цилиндрических зубчатых передач	80
15. Средства и методы контроля цилиндрических зубчатых колес	86
16. Контроль точности конических зубчатых передач	99
17. Контроль точности червячных передач	104
18. Чистота поверхности зубчатых колес	105
Г л а в а III. Нарезание зубчатых колес на универсально-фрезерных станках	106
19. Делительные головки	—
20. Нарезание прямозубых цилиндрических колес	112
21. Нарезание цилиндрических колес с косыми зубьями	113
Г л а в а IV. Зуборезные станки и работа на них	115
22. Общие сведения о зубообрабатывающих станках	—
23. Зубофрезерные станки	127
24. Установка инструмента и детали на станке	147
25. Наладка станка 5Е32 для нарезания цилиндрических колес	152
26. Зубодолбежные станки	165
27. Зубострогальные станки для обработки прямозубых конических колес	184
28. Уход за зуборезными станками	209
29. Требования, предъявляемые к технологическому процессу	211
Г л а в а V. Краткие сведения об организации труда	216
30. Организация заработной платы	—
31. Техническое нормирование	217
Г л а в а VI. Организация рабочего места зуборезчика	221
Литература	223

62 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»