

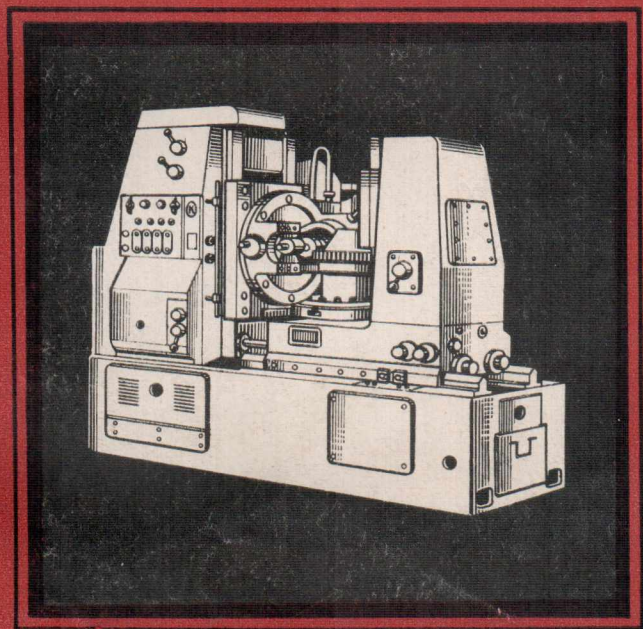
БИБЛИОТЕКА



СТАНОЧНИКА

В. В. Лоскутов А. Г. Ничков

# ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ



БИБЛИОТЕКА



СТАНОЧНИКА

В. В. Лоскутов, А. Г. Ничков

# ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

Долгопрудненский авиационный техникум

Электронная библиотека

Заказчик: А. Ю. Козловский Исполнитель: А. В. Каган



141702 Россия, Московская обл.,  
г. Долгопрудный, пл. Собина, 1

Phone: 8(495)4084593 8(495)4083109  
Email: dat.ak@mail.ru  
Site: gosdat.ru



Москва \* Машиностроение \* 1978

ББК 34.635

Л79

УДК 621.9.06 : 621.833

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук **Б. И. Бирюков**, канд. техн. наук **В. И. Климов**, проф. **В. В. Лоскутов**, инж. **Г. Р. Мозжилин**, Герой Социалистического Труда токарь **Л. Я. Мехонцев**, инж. **Э. П. Молчанов**, лауреат Государственной премии СССР проф. **С. И. Самойлов** (председатель), канд. техн. наук доц. **А. А. Спиридонов**, д-р техн. наук проф. **Ю. С. Шарин**.

Рецензент канд. техн. наук **С. Н. Калашников**

**Лоскутов В. В., Ничков А. Г.**

**Л79**      **Зубообрабатывающие станки.** — М.: Машиностроение, 1978, — 192 с., ил. — (Б-ка станочника).

45 к.

В книге изложены основные сведения о технологических процессах изготовления зубчатых колес, описано устройство отечественных зубообрабатывающих станков, рассмотрены вопросы наладки и настройки станков, даны рекомендации по повышению их производительности и эффективности использования.

Книга предназначена для наладчиков зуборезных станков, рабочих-зуборезов и мастеров машиностроительных заводов.

Л  $\frac{31304-148}{038(01)-78}$  148-78

ББК 34.635  
6П4.6.08

© Издательство «Машиностроение», 1978 г.

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденных XXV съездом КПСС, намечено в станкостроительной и инструментальной промышленности увеличить объем производства металлорежущих станков и кузнечно-прессовых машин в 1,5—1,6 раза.

Материальной основой технического перевооружения всего народного хозяйства страны является машиностроение. Его главная задача — обеспечить все отрасли народного хозяйства высокоэффективными машинами и оборудованием. При этом необходимо, чтобы производительность новых машин была более высокой, а стоимость их снижалась при одновременном улучшении качества выпускаемой продукции. Для того чтобы машиностроители могли справиться с поставленными перед ними большими задачами, необходимо ускорить техническое перевооружение и самого машиностроения. Решающая роль в этом принадлежит станкостроительной промышленности как основе технического прогресса машиностроения.

В десятой пятилетке будет значительно улучшена структура выпускаемого металлообрабатывающего оборудования: обеспечено опережающее развитие выпуска станков с числовым программным управлением, развитие производства тяжелых и уникальных станков и пресов, высокоточных станков, значительно увеличится выпуск специальных станков и автоматических линий; организовано производство переналаживаемых на различные размеры деталей комплексных автоматических линий для отраслей с крупносерийным и массовым выпуском изделий; организовано серийное производство автоматических манипуляторов с программным управлением, позволяющих механизировать и автоматизировать тяжелые физические и монотонные работы.

Таким образом, важным условием быстрого развития машиностроения в новой пятилетке является специализация производства, будут развиваться преимущественно специализированные предприятия с высоким уровнем автоматизации. Основой широкого развития централизованных и специализированных производств должна служить максимальная унификация деталей машин и инструментов, а также типизация технологических процессов. Крупным резервом в машиностроении будет повышение коэффициента сменности в среднем на 20—30%.



В машиностроении применяют различные передачи — гидравлические, пневматические, фрикционные, ременные, цепные и др. Однако самым распространенным видом передач являются зубчатые. Зубчатые колеса используют в металлорежущих станках, тракторах, автомобилях, прокатных станах и приборах. В современных машинах и механизмах используют зубчатые колеса диаметром от 3 мм до 12 м и модулем 0,05—75 мм, цилиндрические прямозубые и косозубые наружного и внутреннего зацепления, а также конические колеса с прямыми или круговыми зубьями и червячные передачи.

Условия, в которых работают зубчатые колеса, различны. В одних случаях они должны вращаться с большой окружной скоростью, иногда превышающей 90 м/с, в других — со скоростью 1 мм/ч, а иногда и меньше. Чем больше окружная скорость зубчатых колес и нагрузка, тем более высокие требования предъявляют к степени точности изготовления колес, качеству материала, из которого они изготовлены, и термической обработке. Надежность и качество работы машин в большой степени зависят от качества изготовления зубчатых передач, поэтому требования к точности изготовления зубчатых колес непрерывно возрастают.

В настоящее время в зубообработке получил широкое применение метод зубошлифования червячным абразивным кругом, который в 5—8 раз производительнее метода резбошлифования коническим кругом.

Одним из перспективных направлений развития зубообрабатывающих станков является применение электроники, что дает возможность существенно сократить и упростить кинематические связи в станках, а следовательно, уменьшить число зубчатых колес в станке.

Данная книга входит в серию «Библиотека станочника». Глава шестая книги написана А. Г. Ничковым, а все остальные главы В. В. Лоскутовым.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ И ЗАЦЕПЛЕНИЯХ

Зубчатые передачи применяют для сообщения вращательного движения от одного вала к другому с помощью зубчатых колес, а также для преобразования вращательного движения в поступательное. Зубчатое колесо, передающее вращение, называют ведущим, а приводимое во вращение — ведомым. Для передачи вращательного движения между параллельными валами используют зубчатые колеса с прямыми (рис. 1, а), косыми (рис. 1, б) и шевронными зубьями (рис. 1, в), а также зубчатые колеса с прямыми зубьями внутреннего зацепления (рис. 1, г). Для передачи движения между пересекающимися валами применяют конические колеса (рис. 1, д), а для передачи движения между скрещивающимися валами — червячные передачи (рис. 1, е).

Зубчатые передачи получили весьма широкое применение в технике благодаря возможности передачи больших мощностей, обеспечению постоянства передаточного отношения, высокому коэффициенту полезного действия (КПД), компактности, плавности, долговечности и надежности в работе.

К недостаткам зубчатых передач следует отнести высокие требования к точности изготовления и значительный шум при работе на больших окружных скоростях.

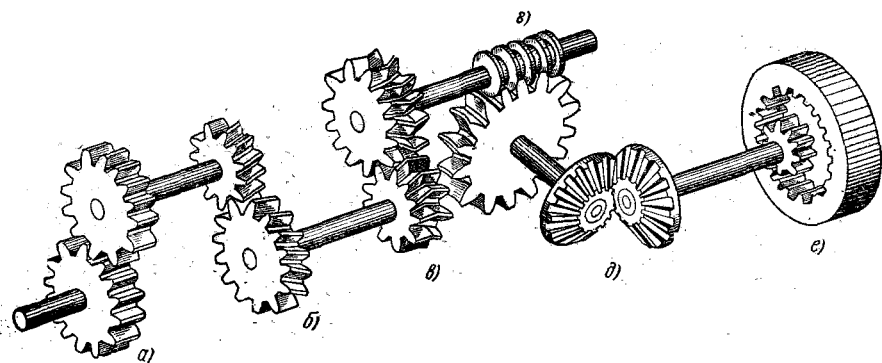


Рис. 1. Типы зубчатых колес

## 1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ

**Закон зацепления передач.** При вращении зубчатых колес зубья одного колеса входят во впадины другого, при этом боковая поверхность зуба ведущего колеса оказывает давление на боковую поверхность ведомого зубчатого колеса. Профили зубьев пары зубчатых колес должны быть сопряженными или, другими словами, заданному профилю одного колеса должен соответствовать определенный профиль зуба другого колеса, с тем чтобы получить постоянное передаточное отношение.

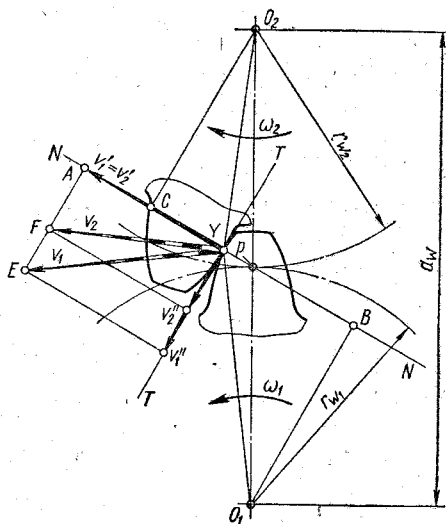
На рис. 2 показан контакт профилей двух зубчатых колес в точке  $Y$ . Центры вращения колес  $O_1$  и  $O_2$  расположены на расстоянии  $a_w$ . Зуб ведущего зубчатого колеса (шестерни) вращается с угловой скоростью  $\omega_1$  и передает вращение зубу ведомого колеса с угловой скоростью  $\omega_2$ . Проведем через точку  $Y$  общую для обоих профилей касательную  $TT$  и нормаль  $NN$ . Окружные скорости точки  $Y$  относительно центров вращения  $O_1$  и  $O_2$  будут

$$v_1 = O_1\omega_1, v_2 = O_2Y\omega_2.$$

Разложим  $v_1$  и  $v_2$  на составляющие  $v'_1$  и  $v'_2$  по направлению нормали  $NN$  и составляющие  $v''_1$  и  $v''_2$  по направлению касательной  $TT$ . Для того чтобы обеспечить постоянный контакт профилей, необходимо обеспечить условие  $v'_1 = v'_2$ . При несоблюдении этого условия зуб шестерни может отстать от зуба колеса или произойдет врезание зубьев. Опустим из центров  $O_1$  и  $O_2$  перпендикуляры  $O_1B$  и  $O_2C$  на нормаль  $NN$ .

Из подобия треугольников  $AEY$  и  $BYO_1$  имеем

$$\frac{v'_1}{v_1} = \frac{O_1B}{O_1Y}, \text{ откуда } v'_1 = \frac{v_1}{O_1Y} O_1B = \omega_1 O_1B.$$



Из подобия треугольников  $AFY$  и  $CY O_2$  имеем

$$\begin{aligned} \frac{v'_2}{v_2} &= \frac{O_2C}{O_2Y}, \text{ откуда } v'_2 = \\ &= \frac{v_2}{O_2Y} O_2C = \omega_2 O_2C. \end{aligned}$$

Но так как  $v'_1 = v'_2$ , то  $\omega_1 O_1B = \omega_2 O_2C$ . Отсюда передаточное число зубчатой передачи

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2C}{O_1B}. \quad (1)$$

Нормаль  $NN$  пересекает линию центров  $O_1O_2$  в точке  $p$ , называемой полюсом зацепления. Из подобия треугольников  $O_2pC$

Рис. 2. Эвольвентное зацепление

и  $O_1 p B$  получим

$$\frac{O_2 C}{O_1 B} = \frac{O_2 \pi}{O_1 \pi} = \frac{r_{N_2}}{r_{N_1}}. \quad (2)$$

Приравнивая уравнения (1) и (2), получим

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Итак, основная теорема зацепления учит, что постоянство передаточного числа зубчатых колес обеспечивают подбором профилей кривых зубьев так, чтобы общая нормаль, проведенная к профилям зубьев в точке их касания, делила линию центров  $O_1 O_2$  на отрезки, обратно пропорциональные угловым скоростям.

Полюс зацепления  $p$  на линии центров  $O_1 O_2$  — неизменный, поэтому радиусы  $r_{w_1}$  и  $r_{w_2}$ , также неизменны. Окружности радиусов  $r_{w_1}$  и  $r_{w_2}$  получили название начальных окружностей зубчатых колес.

Из многих кривых, удовлетворяющих требованиям основной теоремы зацепления, практическое применение в машиностроении получила эвольвента окружности. Прежде чем перейти к эвольвенте окружности, уточним понятия о передаточном числе и передаточном отношении.

Угловая скорость вращения зубчатого колеса

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

где  $n$  — частота вращения колеса, об/мин.

Согласно уравнению  $u = \frac{\omega_1}{\omega_2}$  имеем

$$u = \frac{\frac{\pi n_1}{30}}{\frac{\pi n_2}{30}} = \frac{n_1}{n_2},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — соответственно частоты вращения ведущего и ведомых валов.

Следовательно, передаточное число представляет собой отношение частот вращений ведущего вала к ведомому. Передаточное отношение  $i$  представляет собой отношение частот вращения ведомого вала к ведущему

$$i = \frac{n_2}{n_1}.$$

**Геометрия эвольвенты.** Образование эвольвенты происходит следующим образом. Если по окружности обкатывать прямую линию  $Y N$  без скольжения (рис. 3), то точка  $Y$  этой прямой опишет кривую линию, которую называют эвольвентой (развертка круга). Такую окружность называют основной окружностью; ее диаметр обозначают  $d_b$ , а радиус  $r_b$ . Эвольвента профиля зубьев колес начинается от его основной окружности. Угол  $\alpha_y$  между радиусом-вектором  $OA$  рассматриваемой

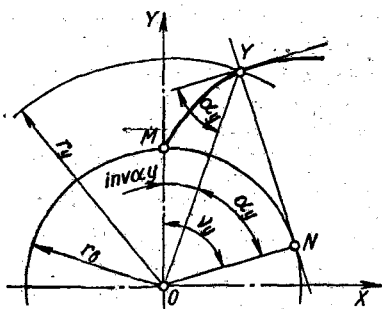


Рис. 3. Образование эвольвенты

точки и радиусом  $r_b$  основной окружности, перпендикулярным к данному положению производящей прямой  $YN$ , называют углом давления и обозначают через  $\alpha_y$ ;  $\text{inv} \alpha_y$  — эвольвентный угол между радиусом  $OM$  и  $OY$ ;  $\nu_y$  — угол развернутости эвольвенты до точки  $Y$ .  
Радиус-вектор

$$r_y = \frac{r_b}{\cos \alpha_y}.$$

Из этого равенства ясно, что форма эвольвенты зависит от радиуса основной окружности. При  $r_b$ , равном бесконечности, цилиндрическое зубчатое колесо превращается в рейку с прямолинейными боковыми сторонами. Это свойство эвольвенты имеет большое практическое значение как при конструировании и изготовлении зуборезных инструментов, так и при нарезании зубчатых колес. Это положение дает возможность определять форму и размеры элементов зубчатых колес, а также режущего инструмента, работающего методом обкатки зубчатой рейки.

Основными преимуществами эвольвентных зубчатых зацеплений являются следующие: 1) зубья эвольвентного зацепления получаются сравнительно простыми при нарезании их методом огибания; 2) при эвольвентном профиле форма зуба на одном колесе не зависит от радиуса основной окружности, сопряженного с ним колеса, так как сопряженные эвольвентные зубчатые колеса имеют равные основные шаги, поэтому каждое колесо данного модуля может сцепляться с любым; 3) возможность создания правильного зацепления при изменении межосевого расстояния, при этом сохраняется передаточное отношение пары зубчатых колес; 4) эвольвентное зацепление дает возможность нарезать колеса со смещением (по старой терминологии — корригированные зубчатые колеса) по методу огибания стандартным режущим инструментом.

**Исходный контур.** На рис. 4 показан стандартный исходный контур, принятый за основу расчета цилиндрических зубчатых колес и зубообрабатывающего режущего инструмента, представляющий собой рейку с равномерно чередующимися симметричными зубьями и впадинами трапецевидной формы.

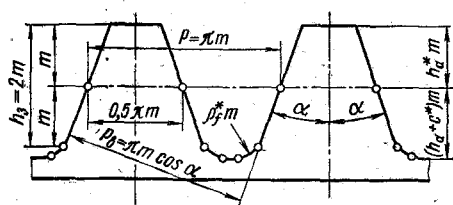


Рис. 4. Исходный контур

Рассмотрим параметры исходного контура (ГОСТ 13755—68). Делительная прямая этой рейки перпендикулярна осям симметрии зубьев ее и толщина зуба на ней равна ширине впадины. Часть зуба этой рейки, расположенной выше делительной прямой, называют головкой

зуба рейки  $h_a^*m$ , а другую часть зуба рейки, расположенную ниже делительной прямой, называют ножкой  $(h_a + c^*)m$ .

Расстояние между одноименными профилями соседних зубьев по делительной прямой или любой другой параллельной ей прямой называют шагом исходного контура  $P = \pi m$ . Для удобства расчетов и измерения зубчатых колес за основу расчета принята величина  $m = \frac{P}{\pi}$ , называемая модулем исходного контура или просто модулем.

Его значения регламентированы стандартом (ГОСТ 9563—60). Этот стандарт предусматривает три ряда модулей. Первый наиболее предпочтительный ряд содержит следующие модули (в мм): 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10 и т. д.

Модуль  $m$  является основной характеристикой как размеров зубьев, так и всего зубчатого колеса. Для сцепляющихся зубчатых колес модуль должен быть одинаковым.

Высота головки зуба рейки

$$h_a = h_a^*m,$$

где  $h_a^*$  — коэффициент высоты головки зуба.

Высота ножки зуба рейки отличается от высоты головки зуба на величину радиального зазора, равного  $c = c^*m$ , где  $c^*$  — коэффициент радиального зазора. Следовательно, величина ножки зуба рейки равна  $h_a + c^*m$ . Полная высота зуба рейки

$$h = (2h_a^* + c^*)m.$$

Расстояние между линией вершин исходного контура и точкой, на которой заканчивают прямолинейный участок зуба рейки, называют граничной высотой зуба:

$$h_g = h_g^*m,$$

где  $h_g^*$  — коэффициент граничной высоты.

Угол  $\alpha$  между боковой стороной и осью зуба рейки называют углом профиля исходного контура. Согласно ГОСТ 13755—68 приняты следующие параметры исходного контура:  $h_a^* = 1$ ,  $c^* = 0,25$ ;  $h_g^* = 2$ ;  $\alpha = 20^\circ$ . При этих значениях коэффициентов высота зуба  $(h = 2h_a^* + c^*)m = (2 + 0,25)m = 2,25m$ ; высота головки зуба  $m$ , а ножки зуба  $1,25m$ .

Прямолинейные профили исходного контура плавно сопряжены радиусом окружности:

$$\rho_f^* m = 0,38m,$$

где  $\rho_f^*$  — коэффициент закругления.

Шаг по профильной нормали исходного контура, который равен основному шагу, сопряженному с исходной рейкой эвольвентного зубчатого колеса,

$$P_b = P \cos \alpha = \pi m \cos \alpha.$$

Элементы зуба с эвольвентным профилем. На рис. 5 показаны основные элементы зуба зубчатой передачи. Рассмотрим их.



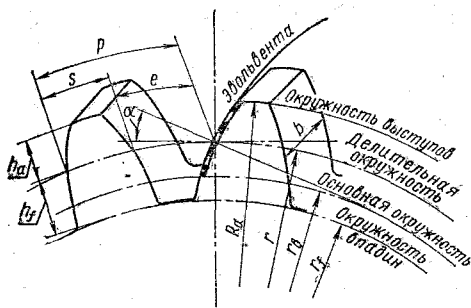


Рис. 5. Элементы зуба эвольвентного зацепления

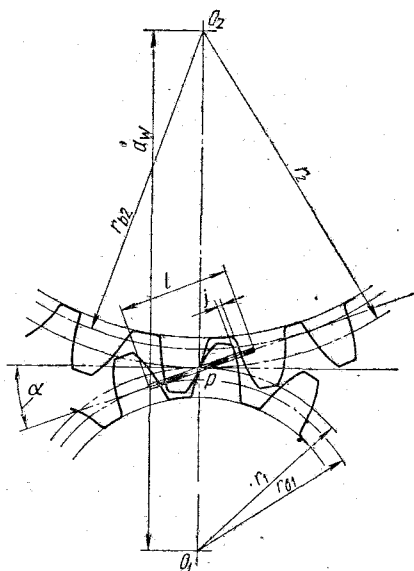


Рис. 6. Элементное зацепление

Делительная окружность — окружность, на которой шаг  $P$  исходного контура должен разместиться на ее длине  $z$  раз:

$$\pi d = zP = \pi z m, \text{ откуда } d = mz,$$

где  $z$  — число зубьев колеса;  $d$  — диаметр делительной окружности, мм.

Другими словами, делительную окружность можно определить как окружность, на которой угол профиля эвольвенты и шаг зубьев равны соответственно углу профиля  $\alpha$  и шагу  $P$  исходного контура. Каждое зубчатое колесо имеет делительную окружность.

Окружность вершин зубьев  $d_e$  — окружность, ограничивающая вершины головок зубьев. Окружность впадин  $d_f$  — окружность, ограничивающая глубину впадин со стороны тела колеса, иначе диаметр впадин. Основная окружность  $d_b$  — окружность, от которой начинается эвольвента. Высота головки зуба  $h_a$  — часть его, выступающая над делительной окружностью. Высота ножки зуба  $h_f = h_a + c$  — часть его, расположенная между делительной окружностью и окружностью впадин колеса, а величина  $c$  характеризует величину радиального зазора как разность между радиусами делительной окружности  $r$  и впадин  $r_f$ , а именно  $c = r - r_f$ .

Толщина зуба  $s$  — длина дуги по делительной окружности, как расстояние между двумя разноименными профилями одного и того же зуба. Теоретически толщина зуба равна  $s = \frac{\pi m}{2}$ .

Ширину впадины  $e$  измеряют по делительной окружности, поэтому  $e = P - s$ . Ширину венца зубчатого колеса обозначают  $b$  (в мм).

**Элементы эвольвентного зацепления.** На рис. 6 приведена пара зубчатых колес в зацеплении, при котором делительная прямая исходной

рейки является касательной к делительной окружности колеса. Такое зацепление называют номинальным, а нарезанные зубчатые колеса колесами без смещения.

Линию центров  $O_1$  и  $O_2$  — прямую, соединяющую центры  $O_1$  и  $O_2$  двух сопряженных зубчатых колес, называют делительным межосевым расстоянием и обозначают  $a$ . Делительное межосевое расстояние определяют по формуле

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{mz_1}{2} + \frac{mz_2}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2},$$

где  $d_1, d_2$  — диаметры делительной окружности соответственно для ведущего и ведомого колес, мм;  $z_1, z_2$  — число зубьев соответственно ведущего и ведомого колес.

Линия зацепления  $l$  — линия неподвижная относительно центров  $O_1$  и  $O_2$ , по которой перемещаются при вращении точка касания сопряженных профилей; при эвольвентном зацеплении эта прямая линия является касательной к основным окружностям колес. Длину ее получают при пересечении линии зацепления и линий радиусов окружностей вершин зубьев  $r_{a1}$  и  $r_{a2}$ .

При нарезании зубчатых колес теоретический размер толщины зуба  $s$  делают несколько меньше, чтобы получить боковой зазор  $j$ , необходимый для правильной работы передачи.

Полос зацепления  $p$  — точка пересечения линий зацепления и межосевого расстояния. Угол зацепления  $\alpha$  получается между линией зацепления и перпендикуляром к линии центров.

Начальные окружности  $d_{w1}$  и  $d_{w2}$  — это окружности, проходящие через полюс зацепления, они перекатываются одна по другой без скольжения. При изменении межосевого расстояния изменяются и диаметры начальных окружностей сопряженных колес. Отдельно взятое колесо не имеет начальной окружности до тех пор, пока оно не приведено в контакт с другим колесом (эвольвентой), поэтому у пары зубчатых колес может быть много начальных окружностей. В номинальном зацеплении начальные окружности совпадают с делительными:  $d_{w1} = d_1$  и  $d_{w2} = d_2$ .

Непрерывность вращения зубчатой передачи возможна только тогда, когда последующая пара зубьев входит в зацепление до выхода предыдущей. За время сцепления пары зубьев точка их контакта проходит путь, равный длине линии зацепления  $l$ . Непрерывность обеспечивают только тогда, когда  $l > P_b$  или, другими словами, когда длина линии зацепления будет больше величины основного шага колеса.

Коэффициентом перекрытия  $\varepsilon_\alpha$  называют отношение отрезка линии зацепления к основному шагу:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{l}{P_b} = \frac{l}{\pi m \cos \alpha}.$$

Например,  $\varepsilon_\alpha = 1,52$ , это значит, что на длине  $0,52l$  в зацеплении будет находиться две пары зубьев, а на длине  $0,48l$  — одна пара зубьев.

Минимально допустимая величина коэффициента перекрытия  $\varepsilon_\alpha = 1,15$ ; рекомендуется  $\varepsilon_\alpha \geq 1,4$ . Эта величина возрастает с увеличе-

нием суммы зубьев сопряженных колес. В прямозубых передачах  $\varepsilon_\alpha$  всегда меньше двух.

При станочном зацеплении режущий инструмент реечного типа образует на заготовке зубья с определенной геометрией и размерами. Делительная прямая исходного контура может занимать при нарезании зубчатых колес по методу огибания различные положения (рис. 7). В том случае, когда делительная прямая исходного контура является касательной к диаметру делительной окружности (рис. 7, а) положение называют номинальным. Колеса, нарезанные при номинальном положении, называют колесами без смещения. Если же при нарезании зубчатого колеса делительная прямая исходного контура не является касательной к делительной окружности нарезаемого колеса, то зубья колеса нарезаны со смещением.

Расстояние между делительной прямой исходного контура и касательной к диаметру делительной окружности и есть величина смещения, равная  $xm$ . Отношение величины смещения к величине модуля называют коэффициентом смещения  $x$ . Коэффициент смещения имеет знаки. В том случае, когда делительная прямая исходного контура пересекает делительную окружность нарезаемого колеса, приближаясь к центру его, то  $x$  считают отрицательным (рис. 7, б), или  $xm < 0$ . Если же делительная прямая исходного контура удаляется от делительной окружности нарезаемого колеса (рис. 7, в), то коэффициент смещения считают положительным, или  $xm > 0$ . При номинальном положении исходного контура  $x = 0$ .

При большом значении  $+x$  может наступить заострение зубьев нарезаемого колеса или встреча эвольвент профиля зуба, а при увеличении  $-x$  — подрезание зубьев нарезаемого колеса или срезание профиля зуба, когда режущий инструмент внедряется в тело зуба, ослабляя его у основания.

Поясним на ряде примеров сущность смещения исходного контура на изменение размеров зубчатых колес. Для сравнения принимаем одинаковыми  $z_1$ ,  $z_2$  и  $m$ . Прежде всего отметим, что основная окружность у зубчатых колес как без смещения исходного контура, так и со смещением исходного контура одна и та же.

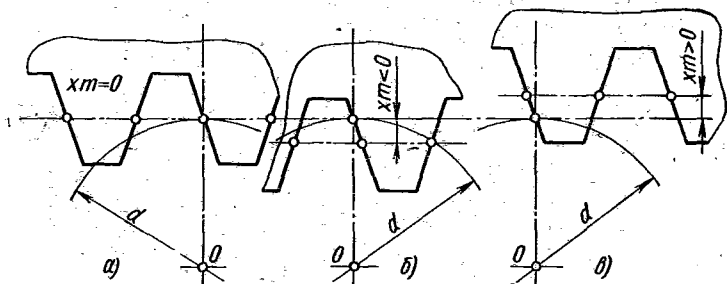


Рис. 7. Положение делительной прямой исходного производящего контура относительно делительной окружности нарезаемого колеса:

а — номинальное; б — с отрицательным смещением; в — с положительным смещением

С л у ч а й п е р в ы й. Зацепление зубчатых колес без смещения исходного контура. Номинальное положение  $x = 0$ . Наружные диаметры колес:  $d_{a1} = m(z_1 + 2)$  и  $d_{a2} = m(z_2 + 2)$ ; расстояние между осями колес  $a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$ ; угол зацепления передачи исходного контура равен  $\alpha$ .

С л у ч а й в т о р о й. Зацепление зубчатых колес со смещением исходного контура  $x_1 = -x_2 = x$ , т. е. смещения равны по абсолютной величине, но обратны по знаку. Положительное смещение при нарезании сообщают малому колесу, а отрицательное — большому. Наружный диаметр малого зубчатого колеса  $d_{a1} = m(z_1 + 2 + 2x)$ , наружный диаметр большого зубчатого колеса  $d_{a2} = m(z_2 + 2 - 2x)$ . Расстояние между осями колес  $a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$ . Угол зацепления зубчатой передачи также равен  $\alpha$ .

В первом случае номинальная и делительная окружности совпадают, а во втором — не совпадают. Высота головки зуба  $h_a = m$ , высота ножки зуба  $h_f = 1,25m$ , высота зуба  $h = 2,25m$ ; справедливо для первого случая как для малого, так и большого колеса. Для второго случая малое колесо  $h_{a1} = m(1 + x)$ ; большое колесо  $h_{a2} = m(1 - x)$ , высота ножки зуба соответственно  $h_{f1} = m(1 - x)$ ,  $h_{f2} = m(1 + x)$  и высота зуба  $h = 2,25m$ . Таким образом, первый случай от второго отличается наружными диаметрами колес и соотношения между головкой и ножкой зуба. Это зацепление иногда называют высотным.

С л у ч а й т р е т ь й. Зацепление зубчатых колес со смещением исходного контура  $x_1 \neq x_2$ . Коэффициенты смещения могут быть равными, но они должны быть одного знака. Для этого случая  $\alpha_w \neq \alpha$  и  $a_w \neq a$ . Это общий случай нарезания колес со смещением, при котором делительная и начальная окружности не совпадают.

Отметим, что нарезание зубчатых колес со смещением производящего реечного контура относительно заготовки ничем не отличается от нарезания зубчатых колес при номинальном зацеплении. В этих случаях применяют стандартный режущий инструмент, например червячную фрезу и зубофрезерный станок, работающий по методу огибания. В современных металлорежущих станках довольно часто встречаются зубчатые колеса, нарезанные со смещением производящего реечного контура.

## 2. ПЕРЕДАЧИ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ

Цилиндрическими зубчатыми колесами внешнего зацепления называют такие, у которых зубья нарезают на цилиндрической поверхности заготовки. Цилиндрические зубчатые колеса могут иметь прямые, косые и шевронные зубья.

Прямозубые цилиндрические колеса с внешним зацеплением. Зубчатые передачи с цилиндрическими прямозубыми колесами имеют наибольшее применение в машиностроении. В этих передачах зубья параллельны оси колеса; в любом сечении, перпендикулярном оси, зубья имеют одинаковый профиль.

Необходимые формулы для геометрического расчета цилиндрических прямозубых колес наружного и внутреннего зацепления без смещения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные формулы для определения геометрических размеров цилиндрических прямозубых колес внешнего и внутреннего зацепления (размеры в мм)

Наименование элемента	Обозначение	Передача внешнего зацепления	Передача внутреннего зацепления
Модуль	$m$	Выбирают по ГОСТ 9563—60	
Шаг:			
по делительной окружности	$P$	$P = \pi m$	
по основной окружности	$P_b$	$P_b = \pi m \cos 20^\circ$	
Число зубьев:		Выбирают конструктивно	
шестерни	$z_1$		
колеса	$z_2$		
Диаметр:			
делительной окружности	$d$	$d = mz$	
вершин зубьев колеса	$d_a$	$d_a = (z + 2)m$	
впадин колеса	$d_f$	$d_f = (z - 2,5)m$	
Высота:			
зуба	$h$	$h = 2,5m$	
головки зуба	$h_a$	$h_a = m$	
ножки зуба	$h_f$	$h_f = 1,25m$	
Радиальный зазор	$c$	$c = 0,25m$	
Толщина зуба по дуге делительной окружности	$s$	$s = \frac{\pi m}{2}$	
Ширина венца	$b$	Выбирают конструктивно	
Делительное межосевое расстояние	$a$	$a = \frac{z_1 + z_2}{2} m$	
		$a = \frac{z_2 - z_1}{2} m$	

**Цилиндрические косозубые колеса.** Основное отличие косозубых цилиндрических колес от прямозубых состоит в том, что они работают с большими нагрузками. Недостатком цилиндрических косозубых колес следует считать осевые силы, которые возникают при работе передачи вследствие наклона зубьев, для восприятия которых необходима установка упорных подшипников.

**Косозубые колеса.** На рис. 8, а показаны элементы цилиндрического косозубого колеса. Угол наклона зуба на делительном цилиндре обозначают  $\beta$ . Величина этого угла находится чаще всего в пределах  $7^\circ < \beta < 35^\circ$ . Косозубые колеса могут иметь правый и левый наклоны зуба. На рис. 8, а показан правый наклон зубьев колеса.

В зубчатой передаче между осями параллельных валов углы наклона зубьев одинаковы, но имеют различные направления, следовательно, одно из колес изготовляют с правым наклоном зубьев, а другое, с ним сцепляющееся, с левым наклоном зуба.

В колесах с косыми зубьями различают три шага зацепления (рис. 8, б): нормальный, торцевой и осевой. Нормальный шаг  $P_n$  опре-

деляет расстояние между одноименными профилями двух смежных зубьев по нормали и их боковой поверхности в нормальном сечении. Окружной шаг  $P_t$  определяет расстояние в направлении, перпендикулярном оси колеса (в торцовом сечении). Осевой шаг  $P_a$  определяет расстояние вдоль образующей делительного цилиндра.

Величины этих шагов связаны следующими формулами:

$$P_n = P_t \cos \beta; P_a = P_t \operatorname{ctg} \alpha.$$

У косозубых колес различают нормальный  $m_n$  и окружной  $m_t$  модули, между которыми существует зависимость

$$m_n = m_t \cos \beta.$$

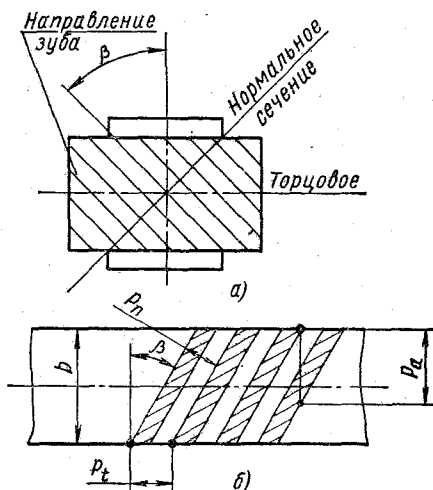


Рис. 8. Элементы цилиндрического косозубого колеса

Отметим, что коэффициент перекрытия косозубых колес больше, чем у прямозубых. В ряде случаев число пар зубьев, находящихся в зацеплении, может достигать десяти.

В табл. 2 приведены расчетные формулы для определения геометрических размеров косозубых колес без смещения исходного профиля.

**Шевронные колеса.** Шевронное колесо представляет собой вдвоенное косозубое цилиндрическое колесо, зубья которого имеют противоположные направления. Благодаря этому осевые силы  $P_o$ , действующие на колесо, взаимно уравновешиваются (рис. 9). Шевронные колеса применяют для передачи больших мощностей, но они дороги в изготовлении. Геометрический расчет их аналогичен расчету косозубых колес.

**Цилиндрические колеса с внутренним зацеплением.** Цилиндрические зубчатые колеса с внутренним зацеплением могут иметь прямые или косые зубья, которые нарезают на внутренней цилиндрической поверхности заготовки (рис. 10). Ведущим колесом, как правило, является меньшее зубчатое колесо с наружным зацеплением. Оба колеса вращаются в одну сторону. Благодаря тому, что выпуклый профиль малого колеса сопрягается с вогнутым профилем большого колеса, эти передачи более долговечны и компактны по сравнению с передачами внешнего зацепления.

Необходимые формулы для геометрического расчета цилиндрических прямозубых колес с внутренним зацеплением приведены в табл. 1.

**Зацепление М. Л. Новикова.** Зубчатые передачи с эвольвентными профилями зубьев разработаны М. Л. Новиковым. На рис. 11 показано нормальное сечение зубьев передачи, из которого видно, что рабочие участки профилей зубьев выполнены по дугам окружностей. Вогнутый профиль зуба описывается несколько большим радиусом, чем выпуклый профиль. В этой передаче линия зацепления расположена



Таблица 2

**Расчетные формулы для определения геометрических размеров  
цилиндрических косозубых колес**

Наименование элемента	Обозначение	Расчетные формулы
Модуль, мм: нормальный	$m_n$	Выбирают по ГОСТ 9563—60
окружной	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$
Шаг нормальный по делительной окружности, мм	$P_n$	$P_n = \pi m_n$
Число зубьев: шестерни	$z_1$	Выбирают конструктивно
колеса	$z_2$	То же
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре, град	$\beta$	
Диаметр, мм: делительной окружности	$d$	$d = \frac{m_n z}{\cos \beta}$
вершин зубьев колеса	$d_a$	$d_a = d + 2m_n = m_n \left( \frac{z}{\cos \beta} + 2 \right)$
окружности впадин	$d_f$	$d_f = d - 2,5m_n = m_n \left( \frac{z}{\cos \beta} - 2,5 \right)$
Высота, мм: зуба	$h$	$h = 2,25m_n$
головки зуба	$h_a$	$h_a = m_n$
ножки зуба	$h_f$	$h_f = 1,25m_n$
Толщина зуба по дуге делительной окружности в нормальном сечении, мм	$s$	$s = \frac{t_n}{2} = \frac{\pi m_n}{2}$
Межосевое расстояние, мм	$a$	$a = m_n \frac{z_1 + z_2}{2 \cos \beta}$
Шаг окружности по делительной окружности, мм	$P_t$	$P_t = \frac{t_n}{\cos \beta} = \frac{\pi m_n}{\cos \beta}$
Ход винтовой линии зубьев, мм	$P_a$	$P_a = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta}$
Толщина зуба по дуге делительной окружности в торцовом сечении, мм	$s_t$	$s_t = \frac{P_t}{2} = \frac{\pi m_n}{2 \sin \beta}$
Радиус основной окружности, мм	$r_b$	$r_b = \frac{\pi m_n z}{2} \cos 20^\circ$
Основной шаг, мм	$P_b$	$P_b = \pi m_n \cos 20^\circ$

параллельно оси зубьев, а не в плоскости их вращения. Следовательно, контакт зубьев происходит не по профилю, как в эвольвентном зацеплении, а вдоль зуба, поэтому зубчатые колеса обязательно должны иметь косые зубья, и зацепление будет точечное. Таким образом, при вращении колес точка контакта их зубьев перемещается по прямой, параллельной осям вращения колеса. Эта прямая и есть линия зацеп-

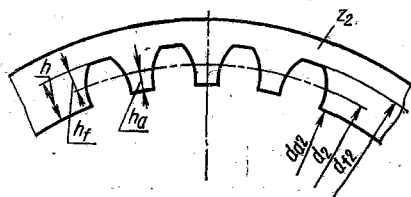
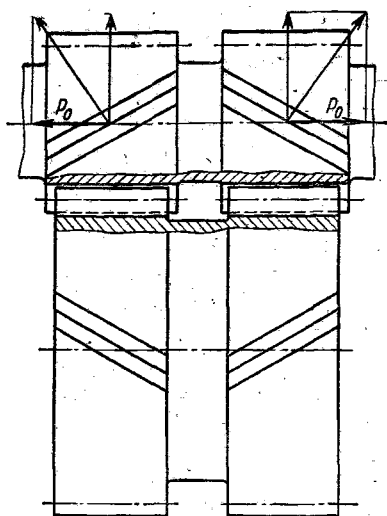


Рис. 10. Цилиндрическое колесо с внутренним зацеплением

← Рис. 9. Шевронные колеса

ления передачи. Расстояние  $l$  от полюса зацепления  $p$  до линии зацепления  $k$  называют смещением.

Различают три вида зацепления М. Л. Новикова: а) шестерня имеет выпуклые зубья, а колесо — вогнутые; линия зацепления расположена за полюсом по направлению движения зубьев; смещение  $l$  положительно (рис. 11, а) — это зацепление называют заплосным; б) головки зубьев шестерни и колеса выпуклые, а ножки — вогнутые; зацепление имеет две линии зацепления, из которых одна расположена до полюса, а другая — за полюсом (рис. 11, б) — это зацепление называют дозаплосным; в) шестерня имеет вогнутые зубья, а колесо выпуклые; линия зацепления расположена до полюса по направлению движения; смещение отрицательно (рис. 11, в) — это зацепление называют дозаплосным.

### 3. КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА

На рис. 12 приведены элементы конических зубчатых колес, а в табл. 3 — расчетные формулы для определения геометрических параметров конических прямозубых колес без смещения исходного профиля рейки.

Толщина и высота зубьев конических зубчатых колес постепенно уменьшаются по направлению к вершине конуса, поэтому окружной шаг, а следовательно, и модуль конического колеса имеют переменную величину.

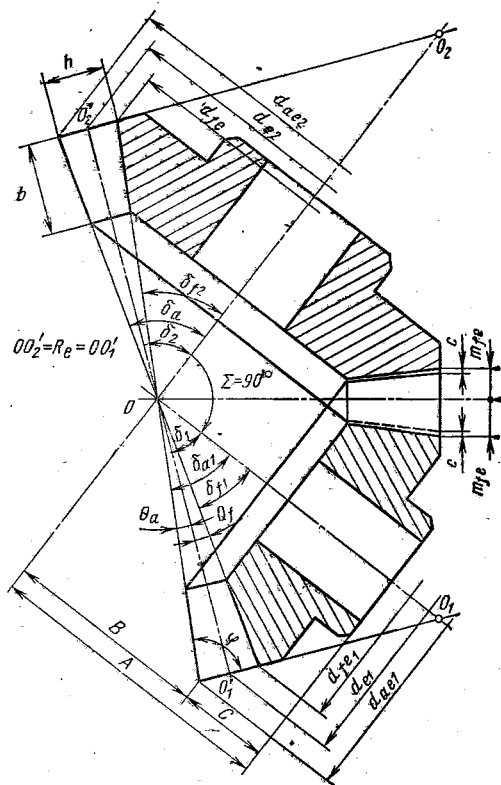
Основные элементы конических колес даны в сечении зуба поверхностью дополнительного конуса, ось которого совпадает с осью конического колеса, а образующие перпендикулярны к образующим делительного конуса.

Конусы с вершиной в точке  $O$  называют конусами выступов и впадин зубчатого колеса. Угол между осью конического зубчатого

Угол между образующей дополнительного конуса и осью колеса называют углом дополнительного конуса. Угол между осью конического зубчатого колеса и образующей его делительного конуса называют углом делительного конуса  $\delta$ . Угол между осями конических зубчатых колес называют межосевым углом  $\varepsilon$ . Наибольшее применение в машиностроении получили конические зубчатые передачи с углом  $\Sigma = 90^\circ$ , такие передачи называют ортогональными.

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{z_1}{z_2}; \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{z_2}{z_1}; \quad \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ,$$

Рис. 11. Зацепление  
М. Л. Новикова



где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — углы делительного конуса соответственно шестерни и колеса;  $z_1$  и  $z_2$  — число зубьев соответственно шестерни и колеса.

Длину отрезка образующей делительного конуса от его вершины до пересечения с образующей делительного дополнительного конуса  $OO_2$  называют конусным расстоянием:

$$R_e = \frac{m_n z_1}{2 \sin \delta_1} = \frac{m_{te} z_2}{2 \sin \delta_2}.$$

При  $\Sigma = 90^\circ$

$$R_e = 0,5 m_{te} \sqrt{z_1^2 + z_2^2}.$$

Таблица 3

Расчетные формулы для определения геометрических параметров конических прямозубых колес

Наименование элемента	Обозначение	Формула расчета
Окружной модуль (внешний), мм	$m_{te}$	Выбирают по ГОСТ 9563—60
Окружной шаг, мм	$p_{te}$	$p_{te} = m_{te} \pi$
Число зубьев: шестерни	$z_1$	Выбирают конструктивно
колеса	$z_2$	
Диаметр делительной окружности, мм: шестерни	$d_{e1}$	$d_{e1} = m_{te} z_1$
колеса	$d_{e2}$	$d_{e2} = m_{te} z_2$
Угол делительного конуса, град:		
ведущего	$\delta_1$	$\delta_1 = \frac{z_2}{z_1}$
ведомого	$\delta_2$	$\delta_2 = \frac{z_1}{z_2}$
	$\Sigma$	$\Sigma = \delta_1 + \delta_2$
Межосевой угол, град		
Внешний диаметр вершин зубьев, мм: шестерни	$d_{ae1}$	$d_{ae1} = m_{te} (z_1 + 2 \cos \varphi)$
колеса	$d_{ae2}$	$d_{ae2} = m_{te} (z_2 + 2 \cos \varphi)$
Высота зуба, мм	$h_a$	$h_a = 2,25 m_{te}$
Высота головки зуба, мм	$h_{ae}$	$h_{ae} = m_{te}$
Радиальный зазор, мм	$c$	$c = 0,25 m_{te}$
Внешнее конусное расстояние, мм	$R_e$	$R_e = \frac{m_{te} z_1}{2 \sin \delta_1} = \frac{m_{te} z_2}{2 \sin \delta_2}$
Угол головки зуба, град	$\theta_a$	$\theta_a = \frac{m_{te}}{R_e}$
Угол ножки зуба, град	$\theta_f$	$\theta_f = \frac{1,25 m_{te}}{R_e}$
Угол конуса, град:		
вершин шестерни	$\delta_{a1}$	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_a$
впадин шестерни	$\delta_{f1}$	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_f$
вершин колеса	$\delta_{a2}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_a$
впадин колеса	$\delta_{f2}$	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_f$
Угол дополнительного конуса	$\omega$	$\omega = 90^\circ - \varphi$
Ширина зубчатого венца, мм	$b$	$b \leq 0,35 R_e$

Расстояние от базового торца колеса до вершины конуса выступов есть номинальный монтажный размер или базовое расстояние. Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев обозначают  $\beta_1$ , а расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев обозначают  $C$ . Размер  $C$  у заготовок для конических колес назначают и нормируют исходя из конструктивных соображений.

Величину  $A$  можно определить по формул

$$A = \frac{d_e}{2} \operatorname{ctg} \delta_1 - m_{te} \sin \delta_1 + C.$$

Для шестерни

$$A_1 = \frac{d_{e1}}{2} \operatorname{ctg} \delta_1 - m_{te} \sin \delta_1 + C;$$

для колеса

$$A_2 = \frac{d_{e2}}{2} \operatorname{ctg} \delta_2 - m_{te} \sin \delta_2 + C.$$

#### 4. ЧЕРВЯКИ, ЧЕРВЯЧНЫЕ И ГЛОБОИДНЫЕ КОЛЕСА

Червячную передачу чаще всего применяют при угле между скрещивающимися осями, равном  $90^\circ$  (рис. 13). Червяк в червячной передаче является ведущим, а червячное колесо ведомым.

Достоинства червячных передач: 1) возможность получения большого передаточного числа; 2) плавность и бесшумность работы. К числу недостатков большинства червячных передач следует отнести низкий КПД и необходимость применения для червячных колес дорогих антифрикционных материалов.

**Червяки.** Червячные передачи по форме червяка делят на передачи с цилиндрическим и глобоидным червяками. Цилиндрические червяки по форме профиля делят на архимедовы, конволютные и эвольвентные, а по числу заходов — на однозаходные и многозаходные.

**Архимедов червяк** (рис. 14, а) представляет собой винт в резьбой, имеющий прямолинейные очертания профиля в осевом сечении

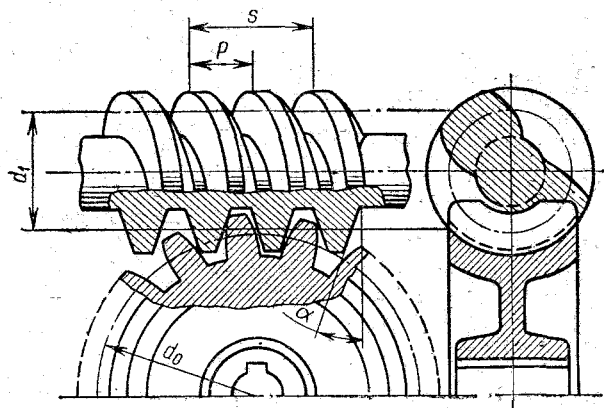


Рис. 13. Общий вид червячной передачи с двухзаходным червяком

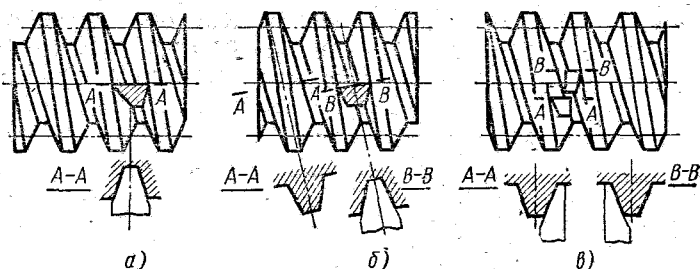


Рис. 14. Основные типы цилиндрических червяков

(трапециевидальный профиль), а в торцовом сечении витка очерчены архимедовой спиралью.

**Конволютный червяк** (рис. 14, б) имеет прямолинейные очертания впадины (или витка) в нормальном сечении. В торцовом сечении витки очерчены удлиненной или укороченной эвольвентой.

**Эвольвентный червяк** (рис. 14, в) представляет собой косозубое зубчатое колесо с малым числом зубьев и большим углом наклона зубьев. Профиль зуба в торцовом сечении очерчен эвольвентой.

В червячных передачах согласно ГОСТ 18498—73 стандартизованы осевые модули  $m$  зацепления. Стандартный угол профиля  $\alpha$  принят равным  $20^\circ$ ; у архимедовых червяков — в осевом сечении, у конволютных — в нормальном сечении, а у эвольвентных червяков, как и у косозубых колес, — в нормальном сечении косозубой рейки, сцепляющейся с червяком.

**Элементы червячной передачи.** На рис. 15 показано зацепление червяка с червячным колесом. Делительный диаметр червяка  $d_1 =$

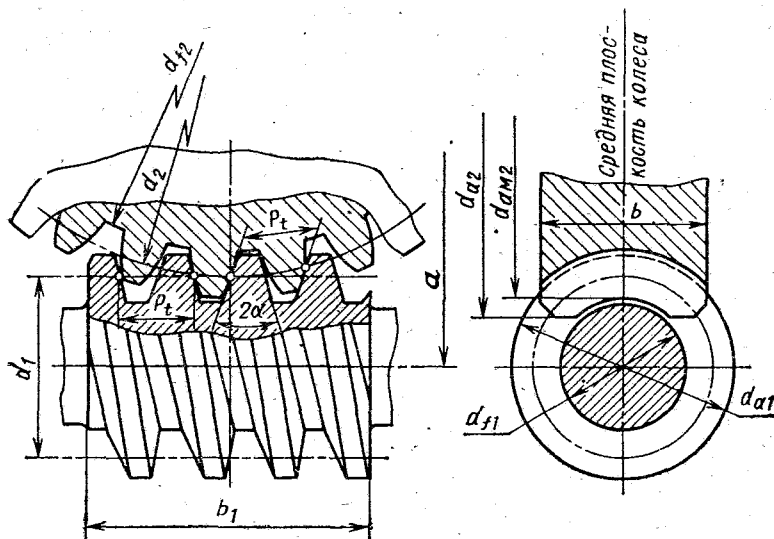


Рис. 15. Элементы цилиндрического червяка и червячного колеса



$= mq$ , где  $q$  — коэффициент диаметра червяка, выбираемый по ГОСТ 19063—73. Основной ряд  $q$ : 8; 10; 12,5; 16; 20 и 25. Меньшие значения принимают для быстроходных червячных передач, а большие — для передач с большими передаточными числами. Начальный диаметр червяка для некоррегированной передачи  $d_1$ . Число заходов червяка выбирают в зависимости от передаточного числа, обычно  $z_1 = 1$ ; 2 и 4. Угол подъема витков червяка определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{s}{\pi d_1} = \frac{P z_1}{\pi d_1} = \frac{m z_1}{d_1} = \frac{z_1}{q},$$

где  $s = P z_1$  — ход витков червяка;  $P$  — шаг витка червяка;  $z_1$  — число заходов червяка.

Высота головки  $h_a$  и ножки  $h_{f1}$  витков червяка

$$h_{a1} = h_{a1}^* m; \quad h_{f1} = h_{f1}^* m,$$

где коэффициент высоты головки  $h_a^* = 1$ , коэффициент высоты ножки  $h_{f1}^* = 1,2$  для архимедовых и конволютных червяков и  $h_{f1}^* = 2,2 (\cos \gamma - 1)$  для эвольвентных.

Диаметр вершин  $d_{a1}$  и диаметр впадин  $d_{f1}$ :

$$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}; \quad d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}.$$

Длину нарезанной части червяка  $b_1$  выбирают тем больше, чем больше число зубьев червячного колеса  $z_2$ .

**Червячные колеса.** Делительный диаметр колеса

$$d_2 = m z_2,$$

где  $z_2$  — число зубьев червячного колеса.

Диаметр вершин  $d_{a2}$  и диаметр впадин  $d_{f2}$ :

$$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}; \quad d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}.$$

Наибольший диаметр (наружный) червячного колеса

$$d_{am2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + 2}.$$

Ширину колеса  $b_2$  выбирают в зависимости от диаметра вершин червяка.

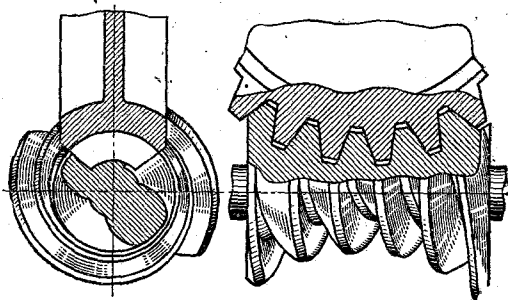


Рис. 16. Глобoidная передача с двухзаходным глобoidным червяком

Угол обхвата  $2\delta$  определяют по формуле

$$\sin \delta = \frac{b_2}{d_{a1} + 0,5m}.$$

Межосевое расстояние передачи

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m}{2} (q + z_2).$$

**Глобoidная передача** (рис. 16). Она обладает большей нагрузочной способностью и более высоким КПД по сравнению с обычной червячной передачей. В этой передаче червяк охватывает колесо по некоторой дуге начальной окружности. Следовательно, в зацеплении находится одновременно большее число зубьев, чем в обычных червячных передачах с цилиндрическим червяком.

Геометрические расчеты глобoidных передач подобны расчетам червячных передач с цилиндрическим червяком.

---

## ГЛАВА ВТОРАЯ

---

### СПОСОБЫ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

#### 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Современное машиностроение предъявляет повышенные требования к зубчатым колесам с точки зрения их прочности, надежности и долговечности, что обязывает изготавливать их с повышенной точностью и бесшумностью в работе.

Точность зубчатых колес зависит от метода нарезания, точности режущего инструмента, станка, установки нарезаемой заготовки и режущего инструмента, а также степени нагрева нарезаемого колеса в процессе зубонарезания. Для разных машин применяют зубчатые колеса разной точности. Точность изготовления цилиндрических зубчатых колес диаметром делительной окружности до 5000 мм и модулями от 1 до 50 мм оценивают по ГОСТ 1643—72, которым установлено 12 степеней точности. Первая и вторая степени точности предусмотрены для сверхточных колес, а двенадцатая — для самой грубой обработки; нормы точности для этих степеней не установлены.

Ориентировочно можно считать, что 3—4-ю степени точности применяют, главным образом, для измерительных колес; 5—7-ю — в ответственных передачах металлорежущих станков; 7-8-ю — для колес средней точности в общем машиностроении; 9—10-ю — для грубых колес.

Наша станкостроительная промышленность изготавливает металлорежущие станки пяти классов точности.

Станки нормальной точности (класс Н) обеспечивают нарезание зубчатых колес 7—8-й степени точности, например, зубофрезерный станок мод. 5К32.

Станки повышенной точности (класс П) обеспечивают нарезание зубчатых колес 6—7-й степени точности; точность станков достигается повышением качества изготовления и сборки станков нормальной точности и увеличением передаточного числа делительных пар. Это например, зубодолбежный станок мод. 5122 и зубофрезерный станок мод. 5К32П.

Станки более высокой точности конструктивно отличаются от станков нормальной точности. Их изготавливают с предельно короткими кинематическими цепями, применением корригирующих устройств и комплекса контрольно-измерительной аппаратуры. Гидравлический и электрический приводы выносят за пределы станков. К качеству изготовления деталей станка предъявляют жесткие требования; особо точные станки устанавливают на виброизолированных фундаментах.

Станки высокой точности (класс В) обеспечивают нарезание зубчатых колес 5—6-й степени точности, например зубошлифовальный станок мод. 584М.

Станки особо высокой точности (класс А) обеспечивают нарезание зубчатых колес 4—5-й степени точности, например зубофрезерный станок мод. 5310А.

Станки особо точные (класс С) обеспечивают нарезание зубчатых колес 3-й степени точности, их называют мастер-станками, например зубофрезерный станок мод. 543 для окончательной чистовой обработки зубьев высокоточных червячных колес. Особенности станка являются короткая и жесткая кинематическая цепь, наличие корригирующего устройства в цепи деления, большое передаточное число червячной делительной пары (360:1). Высокое качество материалов, применяемых для деталей станков, и их термическая обработка в сочетании с большой точностью механической обработки обеспечивают заданную точность нарезания зубьев колеса.

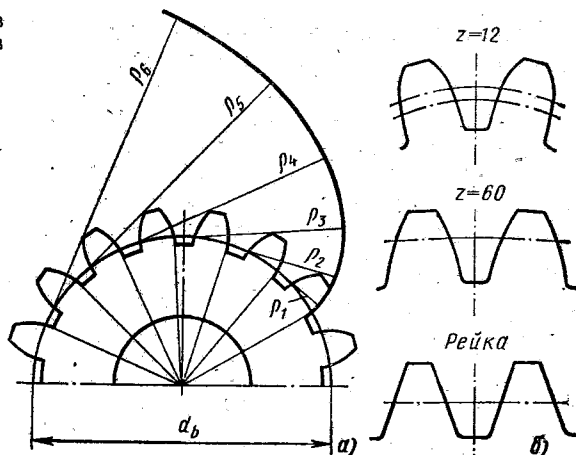
## 2. МЕТОДЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗУБЬЕВ КОЛЕС

Основной технологической операцией при изготовлении зубчатых колес является обработка (профилирование) их зубьев, на которую затрачивают 50—60% общей трудоемкости механической обработки зубчатого колеса.

Различают два принципиальных метода нарезания эвольвентных зубчатых колес: профильное копирование и огибание, называемое иначе обкаткой.

**Метод профильного копирования.** По методу профильного копирования впадина между зубьями колес образуется режущим инструментом (резцом, пальцевой или дисковой фрезой, протяжкой, шлифовальным кругом), имеющим профиль режущих кромок, одинаковый с профилем впадины нарезаемого колеса. Рассмотрим вначале особенности метода копирования. Известно, что эвольвента как кривая профиля

Рис. 17. Профили зубьев в зависимости от числа зубьев



зубьев колес начинается от основной окружности, диаметр которой (рис. 17, а)

$$d_b = mz \cos \alpha,$$

где  $d_b$  — диаметр основной окружности, мм;  $m$  — модуль нарезаемого колеса, мм;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса;  $\alpha$  — профильный угол исходного контура (рейки).

Из формулы видно, что для прямозубых колес любому модулю; числу зубьев и профильному углу исходного контура соответствует только одна основная окружность, при которой получается строго определенная эвольвента. Следовательно, теоретически для каждого числа зубьев колеса определенного модуля и профильного угла исходного контура необходима специальная фреза или фасонный резец. С увеличением числа зубьев кривизна эвольвенты изменяется, а у колеса с бесконечно большим числом зубьев (рейки) эвольвента превращается в прямую линию (рис. 17, б).

Для колеса с числом зубьев от 12 до 300 одного модуля необходимо иметь 288 фрез, что весьма трудно в изготовлении и дорого; поэтому в зависимости от точности нарезания зубчатых колес ограничиваются комплектом из 3, 8, 15 или 26 фрез вместо 288.

Фрезой определенного номера нарезают колеса со следующим числом зубьев.

Номер фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135 и более

Набор из восьми фрез — основной, его применяют для нарезания колес  $m < 8$ ; 15-штучный набор — для  $m$  до 16 мм, а для колес с крупными модулями — 26-штучный набор.

При комплекте, состоящем из восьми фрез, точно можно нарезать колеса, имеющие числа зубьев: 12, 14, 17, 21, 26, 35, 55 и 135, а все остальные при нарезании получают неточный профиль.

На рис. 18 приведены методы профильного копирования при нарезании зубчатых колес.

**Нарезание зубьев одиночным резцом.** Зубчатое колесо можно нарезать на долбежном или строгальном станках фасонным резцом, профиль которого должен соответствовать впадине зубчатого колеса (рис. 18, а). Резец совершает возвратно-поступательные перемещения (движение резания), а заготовка за каждый двойной ход резца получает периодическое радиальное перемещение (движение подачи). Нарезание впадины зуба будет закончено, когда резец полностью образует ее; после этого заготовка возвращается в исходное положение. С помощью делительного устройства заготовку поворачивают на один зуб, затем нарезают соседнюю впадину зуба и т. д. Такой малопроизводительный способ нарезания колес иногда применяют в условиях ремонта при отсутствии горизонтально-фрезерных или зуборезных станков.

**Нарезание зубьев дисковой модульной фрезой (рис. 18, б).** Заготовку устанавливают на столе горизонтально-фрезерного станка между делительной головкой и задней бабкой. Фреза совершает вращательное движение, а стол станка с нарезаемым колесом перемещают вдоль оси колеса (продольная подача). После того как впадина зуба будет профрезерована, стол с заготовкой и делительной головкой отводят в исходное положение; с помощью делительной головки поворачивают заготовку на один зуб или на один шаг и фрезеруют следующую впадину и т. д.

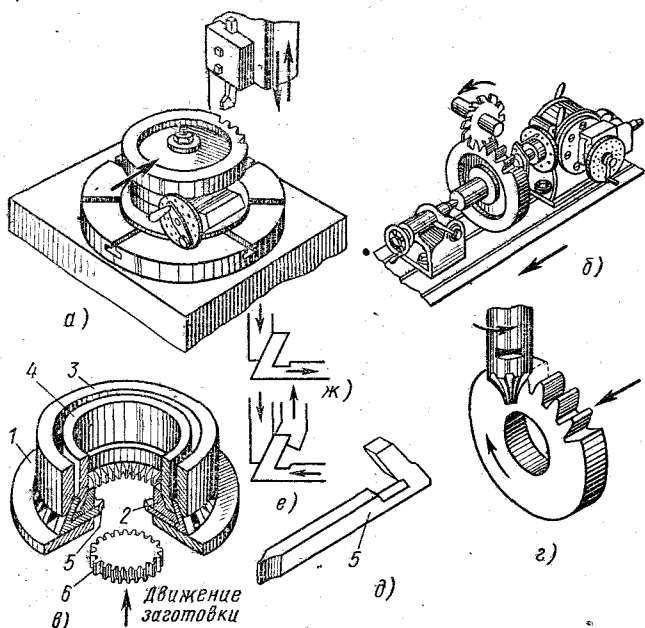


Рис. 18. Методы профильного копирования при нарезании зубчатых колес

**Нарезание зубьев пальцевой модульной фрезой.** При нарезании колес большого модуля дисковые фрезы должны иметь большие размеры, поэтому для нарезания зубчатых колес модулем 30—75 мм лучше применять пальцевые фрезы. Эти фрезы широко используют для нарезания, в частности, шевронных зубчатых колес без канавок, например валов-шестерен клеток прокатных станков. Схема нарезания прямозубого колеса модульной пальцевой фрезой показана на рис. 18, г. При нарезании прямозубых колес крупных модулей заготовка неподвижна, а вращающаяся пальцевая фреза перемещается вдоль оси заготовки. После прорезки впадины суппорт, несущий фрезу, отводится в первоначальное положение; с помощью делительного механизма заготовку поворачивают на один шаг, и фреза прорезает следующую впадину и т. д. При нарезании колес небольших модулей пальцевая фреза может только вращаться, а заготовка совершать продольное перемещение вдоль оси.

Основные недостатки метода копирования: 1) необходимость использования режущего инструмента (дисковые и пальцевые фрезы) сложной конструкции и точного делительного устройства; 2) невысокая точность обработки; 3) сложность точной установки фрезы относительно нарезаемого колеса; 4) большая потеря времени на возврат заготовки (инструмента) в исходное положение после нарезания каждой впадины зуба и на повороты (давление) заготовки.

**Контурное зубонарезание.** Малопроизводительный в единичном и мелкосерийном производстве метод копирования оказался высокопроизводительным в условиях массового производства зубчатых колес небольших размеров и модулей; в частности, он оказался производительным при одновременном нарезании всех впадин зубьев колес специальными многорезцовыми головками (рис. 18, в). В таких головках число резцов равно числу впадин на обрабатываемом колесе, а форма режущих кромок резцов точно соответствует профилю впадин нарезаемых зубьев. Число прямоугольных пазов на диске 1 равно числу впадин зубьев на нарезаемом колесе. В пазы устанавливают взаимозаменяемые резцы 5 (рис. 18, в, д), а затем к диску привертывают кольцо 2. Во время работы заготовке 6 сообщают возвратно-поступательное перемещение в вертикальном направлении, а резцам — периодическое радиальное движение подачи, при котором они постепенно приближаются к центру.

Резцы прорезают впадины, когда заготовка движется вверх; перед началом каждого двойного хода заготовки резцы сближаются; к началу движения заготовки вниз резцы разводят так, чтобы устранить их трение с обрабатываемой поверхностью. Нарезание зубьев заканчивается, когда резцы будут поданы на полную глубину нарезания. Радиальную подачу резцов осуществляют кольцом 3 (рис. 18, в, ж), когда нужно подать резцы к центру. Кольцо опускают, оно внутренним конусом перемещает резцы; раздвигают резцы (рис. 18, в, е) перемещением вверх кольца 4. Производительность при работе многорезцовыми головками по сравнению с производительностью на обычных станках увеличивается в 8—10 раз. При использовании многорезцовой головки делительный механизм не нужен, что упрощает конструкцию стан-



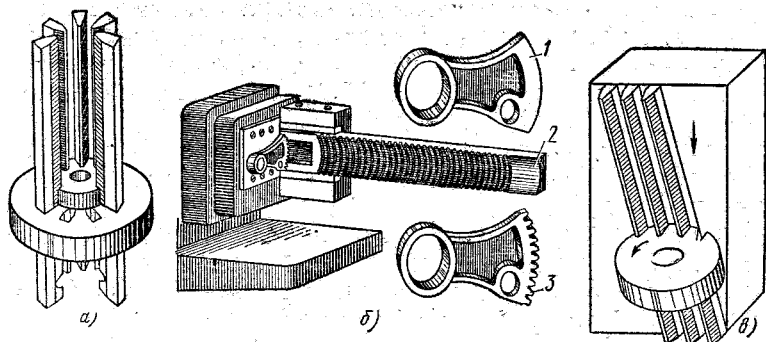


Рис. 19. Схемы протягивания зубчатых колес

ка. Профили резцов изготавливают в соответствии с заданным числом зубьев нарезаемого колеса, поэтому недостатки, присущие нарезанию колес наборами фрез, исключаются. Эти головки обеспечивают нарезание колес 7—8-й степени точности.

**Образование впадины зубьев протяжками.** Протягивание (рис. 19), широко применяемое в условиях крупносерийного и массового производства, используют и при изготовлении зубьев зубчатых колес. Зубопротягивание методом копирования можно разделить на три способа.

**Протягивание зубьев у мелко модульных колес всех одновременно.** Таким способом могут быть изготовлены колеса наружного зацепления (рис. 19, а), а также внутреннего зацепления соответствующей протяжкой. На рис. 19, б показано протягивание зубчатого сектора 3 из заготовки 1 с помощью эвольвентной протяжки 2. Следовательно, за один ход протяжки протягивают все впадины колеса (сектора), поэтому в станке нет делительного механизма, что упрощает станок. Зубья колес в этом случае могут протягиваться на универсальных протяжных станках.

**Протягивание одной или нескольких впадин зубьев колеса одновременно.** В этом случае станок должен иметь делительный механизм. Таким способом протягивают впадины венцов больших зубчатых колес, закрепляемых на круглом поворотном столе станка.

**Протягивание крупномодульных колес.** В этом случае впадина зуба протягивается на несколько ходов протяжки. В таких станках должны быть независимые делительные механизмы для протяжки и заготовки. Зубопротягивание может осуществляться и методом огибания. Схема протягивания впадин колеса методом огибания приведена на рис. 19, в.

### 3. МЕТОД ОБКАТКИ

Прежде чем дать определение, что такое метод обкатки, рассмотрим несколько примеров. Пусть кривая А, имеющая произвольную форму (рис. 20, а), перемещаясь, занимает ряд последовательных положе-

ний 1, 2, 3, 4....., изображенных штриховыми линиями. Кривую  $BB$ , касающуюся кривой  $A$  в каждой ее точке, называют огибающей, а перемещающуюся кривую  $A$  — огибаемой. Если, в частности, огибаемая кривая  $A$  будет окружностью (рис. 20, б), центр которой перемещается по окружности  $C$ , то огибающих будет две:  $B_1$  и  $B_2$ .

Если окружность  $A$  перемещается в плоскости так, что центр ее все время находится на прямой  $CC$  (рис. 20, в), то огибающими будут прямые линии  $B_1B_1$  и  $B_2B_2$ .

Пусть прямая  $A_1A_2$  (рис. 20, г), перемещаясь, скользит концом  $A_1$  по стенке  $C_1C_0$ , концом  $A_2$  — по стенке  $C_0C_2$ , занимая при этом ряд положений, обозначенных штриховыми линиями. Кривая  $BB$ , касающаяся прямой во всех ее точках, будет огибающей.

Эвольвентную кривую  $AB$  опишет точка  $A$  прямой  $CC$  (рис. 20, д), если эту прямую перекачивать без скольжения в направлении стрелки  $K$  по неподвижной окружности  $F$ . Отрезок  $DE$ , перпендикулярный к прямой  $AC$  в точке  $A$ , будет касаться эвольвентной кривой во всех положениях прямой  $CC$ , т. е. эвольвентная кривая в данном случае будет огибающей ряда последовательных положений отрезка  $DE$ , перемещающегося вместе с прямой  $AC$  и являющегося в этом случае огибаемым.

Понятие об огибающей и огибаемых линиях положено в основу образования эвольвентного профиля зубьев резанием. Профиль режущего инструмента не похож на обрабатываемый профиль. При зубонарезании по методу огибания профили режущих кромок инструментов, перемещаясь, занимают относительно профилей зубьев колес ряд последовательных положений, срезая металл в тех местах, где должны

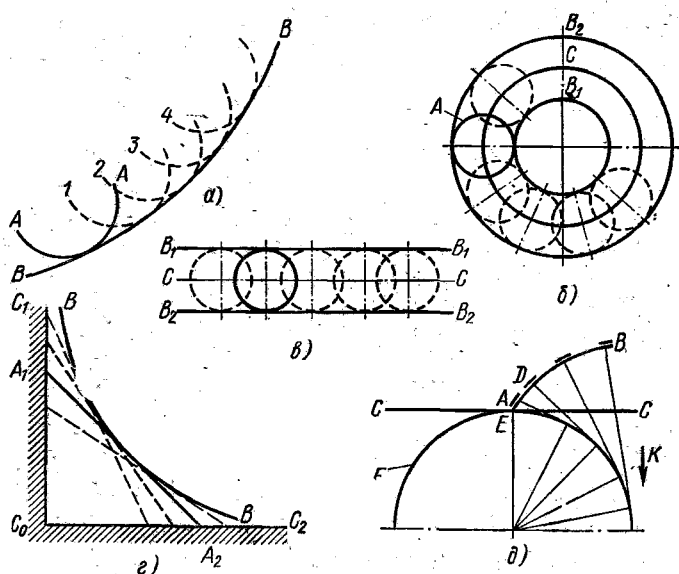


Рис. 20. Огибаемые и огибающие линии

быть впадины зубьев. Эвольвентные профили обрабатываемых зубьев возникают при этом как огибающие ряда указанных последовательных положений режущих кромок, или иначе как огибающие ряда последовательных срезов металла. Поэтому такой метод профилирования зубьев называют методом обкатки.

На рис. 21 приведены схемы зубонарезания колес методом обкатки. Если зубчатую рейку перекачивать по стрелке *A* (рис. 21, б) касаясь при этом плоскостью *ВВ* поверхности делительного цилиндра, то эвольвентные профили зубьев колеса будут огибающими перемещающихся профилей зубьев рейки. Если, наоборот, зубчатое колесо перекачивать по неподвижной рейке в направлении стрелки *D*, касаясь делительного цилиндра с делительной плоскостью *ВВ*, то профили зубьев рейки будут огибающими эвольвентных перемещающихся профилей зубчатых колес. Кривые, которые при относительном движении могут быть огибаемыми и огибающими, называют взаимеогибающими.

Взаимоогibaемость профилей используют при нарезании зубьев колес рейки; для этого рейку изготовляют из инструментального материала. Режущей рейке сообщают возвратно-поступательное (главное) движение в направлении стрелки *E* (рис. 21, а), а нарезаемому колесу — вращательное движение подачи по стрелке *F* и поступательное в направлении стрелки *G*. Режущая рейка, перемещаясь вниз, срезает режущими кромками металл в тех местах зубчатого колеса, где должны быть впадины зубьев. На рис. 21, б во впадинах колес изображены последовательные положения профилей зубьев режущей рейки, относительно которых профили зубьев являются огибающими. Пред-

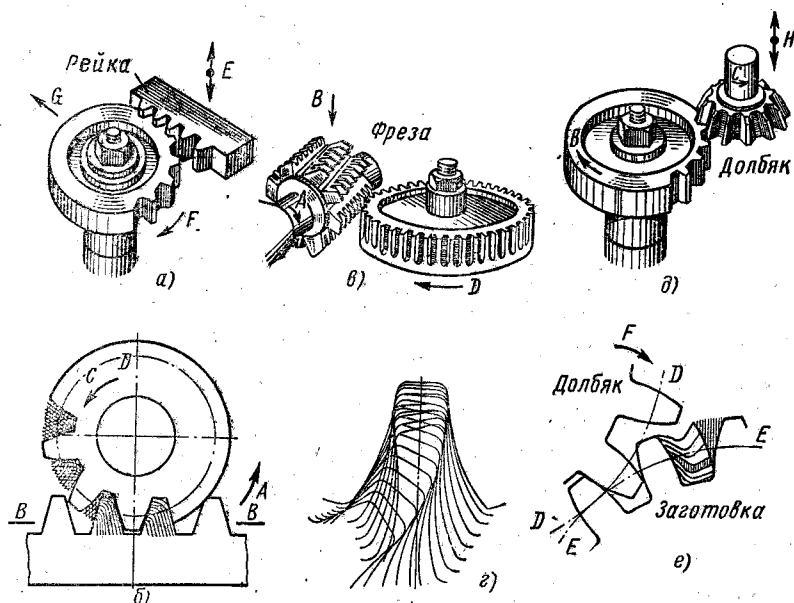


Рис. 21. Схемы зубонарезания колес методом огибания

ставляя, таким образом, процесс образования эвольвентного профиля зубьев, нетрудно установить, какие должны быть соотношения между вращательными и поступательными движениями.

При нарезании зубьев червячной фрезой последней сообщают вращательное движение в направлении стрелки *A* (рис. 21, *в*) и поступательное движение подзчи в направлении стрелки *B*; одновременно заготовка сообщает вращательное движение, направление которого определяется направлением витка фрезы. Если, например, фреза правозаходная, то заготовка должна вращаться против часовой стрелки, если левозаходная — по часовой стрелке. Профиль фрезы, нормальный к ее витку, похож на профиль режущей рейки, но отличается от профиля впадины нарезаемого зуба. Вследствие вращательного движения фрезы и заготовки профили режущих кромок зубьев фрезы занимают относительно профиля зубьев колеса ряд положений, изображенных на рис. 21, *г*; эвольвентные профили зубьев колеса образуются при этом как огибающие точек кромок фрезы.

Другим режущим инструментом, работающим по методу обкатки, является режущее зубчатое колесо-долбяк. При нарезании зубьев долбяку сообщают возвратно-поступательное перемещение по стрелке *H* (рис. 21, *д*); перемещаясь вниз, долбяк срезает с заготовки металл. Кроме того, долбяку и заготовке сообщают вращательные движения в направлении стрелок *B* и *C*. Если условно заготовку (колесо) остановить, а долбяк (окружность *DD*) катить без скольжения по делительной окружности *EE* заготовки в направлении стрелки *F* (рис. 21, *е*), то эвольвентный профиль зуба долбяка будет занимать ряд последовательных положений. Эвольвентный профиль зуба колеса будет при этом огибающей всех положений эвольвентного профиля зуба долбяка; такое же положение профилей возникает и в процессе зубодолбления, когда долбяк и заготовка вращаются. В результате движений, сообщаемых заготовке и инструменту относительно друг друга, боковая поверхность зубьев получается как огибающая режущего производящего контура.

Все зубообрабатывающие станки, работающие по методу обкатки, построены по вполне определенным схемам зубчатых зацеплений нарезаемого колеса и режущего инструмента.

Профиль колеса, полученный методом огибания, представляет собой не точно заданный профиль, а лишь приближающийся к нему. Так, например, если к криволинейному профилю (рис. 22, *а*) провести касательные *1, 2, 3, 4, ..., n*, то получим ломаную линию *abc*. Очевидно, что чем больше будет таких касательных, тем точнее будет изготовлен профиль зуба колеса. На рис. 22, *б* слева показано нарезание левого профиля зуба колеса червячной фрезой, а справа — правого профиля зуба колеса долбяком.

Полученный на колесе профиль зуба является сочетанием следов режущих кромок инструмента. Из-за небольшого числа зубьев червячной фрезы и недостаточного числа двойных ходов долбяка, происходящих на обработку одной впадины зуба, профиль зубьев нарезаемого колеса получает огранку. Чем меньше будет величина огранки, тем точнее будет профиль нарезаемого зуба колеса; следовательно, чем

точнее должен быть профиль зуба колеса, тем больше число резов требуется для его обработки.

Следовательно, профиль зубьев из-за прерываемости процесса резания очерчивается неточно по эвольвенте. Только одна точка для каждого профилирующего среза одновременно принадлежит профилю среза и теоретической эвольвенте. Точка, принадлежащая эвольвенте, воспроизводится лишь в том месте профиля зуба, где профиль зуба инструмента пересекает линию зацепления.

Боковая поверхность зуба колеса, нарезанного червячной фрезой, показана на рис. 23 и представляет собой сочетание лунок глубиной  $\delta$ . Например, при подаче  $s = 4$  мм/об, диаметре червячной фрезы  $D_{\phi} = 180$  мм, профильном угле  $\alpha = 20^\circ$  глубина лунок  $\delta = 7,5$  мкм.

**Принцип зуботочения.** Принцип зуботочения (рис. 24) основан на воспроизводстве в процессе нарезания зацепления пары цилиндрических колес с косыми зубьями. Одно из них является режущим инструментом типа долбяка или обкаточным резцом, а другое — нарезаемым зубчатым колесом. В процессе огибания такой зубчатой передачи имеет место относительное скольжение боковых поверхностей, используемое при этом как движение резания.

Обкаточными резцами можно нарезать как прямозубые, так и косозубые цилиндрические колеса. Прямозубые колеса нарезают косозубым режущим инструментом, а косозубые как прямозубым, так и косозубым режущим инструментом. В процессе нарезания заготовка *1* и режущий инструмент *2* получают согласованные вращательные движения *I* и *II* вокруг своих осей. Режущему инструменту, кроме того, сообщают движение подачи *III* вдоль оси нарезаемого колеса с тем, чтобы нарезать зубья по всей длине. Станки для зуботочения по кинематической схеме и устройству напоминают зубофрезерные станки.

При зуботочении производительность повышается в 3—5 раз по сравнению с зубофрезерованием однозаходными червячными фрезами из быстрорежущих сталей. Скорость резания при зуботочении определяют величиной скольжения боковых поверхностей зубьев. Она зави-

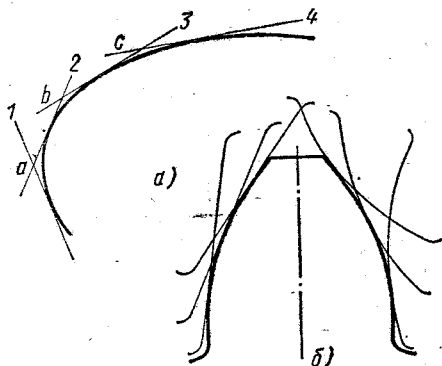


Рис. 22. Схема образования огранки профиля зубьев нарезанного колеса

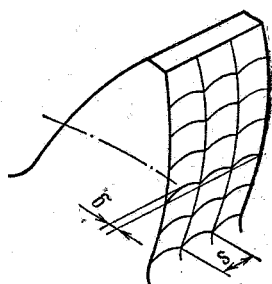


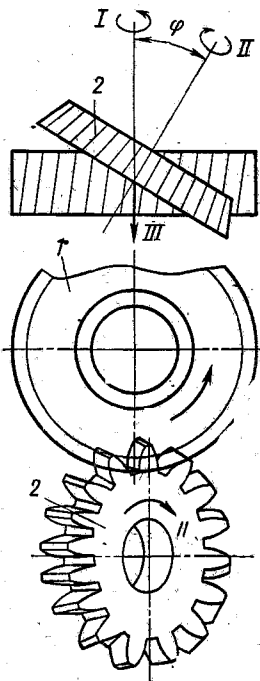
Рис. 23. Боковая поверхность зуба колеса

еит от окружной скорости режущего инструмента, угла скрещивания  $\varphi$  осей инструмента и нарезаемого колеса.

**Холодное накатывание зубьев у колес.** По методу обкатки могут быть получены зубья цилиндрических колес (как прямые, так и косые) без снятия стружки холодным накатыванием под большим давлением или, другими словами, путем пластической деформации. На рис. 25 приведен процесс накатывания зубьев колеса с наружным диаметром 120 мм, осуществляемый на станке «Ролламатик РК-12» фирмы Мааг.

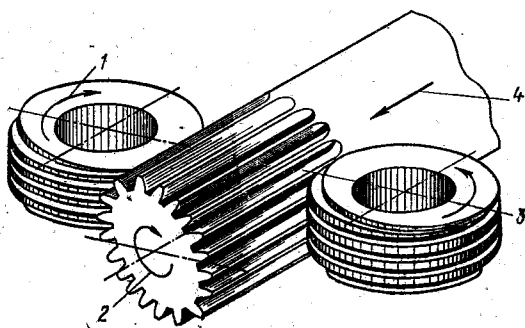
Два инструмента (червячные ролики) 1 и 3 вдавливаются в цилиндрическую заготовку 2, которая вращается вокруг собственной оси и одновременно перемещается вдоль ее по стрелке 4. Вращательные движения червячных роликов, вращение заготовки и ее поступательное перемещение согласуют кинематическими цепями, настраиваемых с помощью гитар станка сменными зубчатыми колесами. При наладке станка необходимо повернуть инструментальные шпиндели на угол подъема нитки червячного ролика для накатывания прямозубых колес. Применение холодного накатывания обеспечивает получение высокого качества поверхности по всему профилю зуба, прочность зубьев и твердость наружных слоев металла также по всему профилю и образование мелкозернистой структуры.

Диаметр исходной заготовки незначительно отличается от диаметра начальной окружности готового колеса. На станке можно нарезать одно или несколько зубчатых колес, надеваемых на оправку, или изготовлять их из прутка с последующей разрезкой на необходимые части по длине зуба колеса.



← Рис. 24. Зубоочение цилиндрических колес

Рис. 25. Накатывание зубьев у колеса



Червячные ролики применяют парами, следовательно, для каждого модуля необходима своя пара роликов. Срок службы червячных роликов превышает срок службы режущего инструмента, работающего со снятием стружки. Отметим, что для накатывания прямозубых и косозубых колес применяют одни и те же ролики одного модуля.

---

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

---

### КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ В ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ И ИХ НАСТРОЙКА

#### 1. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ДВИЖЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНАМ СТАНКА

Различают два вида движения резания. Движение, по которому определяют скорость резания, называют главным движением. Движение, с помощью которого обеспечивают процесс резания по всей обрабатываемой поверхности, называют движением подачи, или другими словами, движение, по скорости которого определяют путь, пройденный режущим инструментом за определенный промежуток времени. Главное движение может быть как вращательным, так и поступательным. Кроме движений резания станок имеет вспомогательные движения и движения управления, с помощью которых станок готовят к выполнению заданной работы и управляют.

Скоростью резания  $v$  называют путь, пройденный в одну минуту точкой, лежащей на поверхности наружного диаметра режущего инструмента при главном вращательном движении.

Подачу выражают как путь, пройденный инструментом (заготовкой) за один оборот заготовки (инструмента) и обозначают  $s$  (мм/об). Иногда подачу выражают как путь, пройденный заготовкой (инструментом) в течение одной минуты (мм/мин).

Геометрическую форму и размеры при нарезании зубчатых колес получают, задавая обрабатываемой детали и режущему инструменту относительное движение, без которого резание металлов невозможно. Другими словами, исполнительным органом станка, несущим заготовку и режущий инструмент, задают определенные согласованные движения. Технически наиболее просто осуществить поступательные и вращательные движения, поэтому в большинстве случаев их и применяют в металлорежущих станках. Направление этих движений зависит от форм обрабатываемой поверхности и режущего инструмента. Вращательные и поступательные движения заготовке и инструменту сообщают механизмами станка. Таким образом, чтобы изучить станок, понять, как устроены его механизмы и кинематика, надо, прежде всего, четко уяснить, как получается требуемая форма обрабатываемой поверхности при заданной форме режущего инструмента и какие для этой цели необходимы относительные движения нарезаемого колеса и режущего инструмента.

Для более четкого понимания принципа устройства и работы механизмов станка, связывающих два исполнительных органа станка или электродвигателя с исполнительным органом станка, их изображают в виде кинематической цепи. Совокупность кинематических цепей составляют кинематическую схему станка, дающую возможность в наглядной форме проследить передачу движений от электродвигателя к отдельным рабочим органам станка, к числу которых относят шпиндель, стол, суппорт, инструментальную головку и ряд других.

Кинематические цепи делят на простые и сложные.

Когда два исполнительных органа станка связаны между собой одной системой звеньев, передающих движение, то такую кинематическую цепь называют простой. Когда два исполнительных органа станка связаны между собой двумя или более одновременно действующими простыми цепями, кинематическую цепь называют сложной. Основным признаком сложной кинематической цепи является наличие в ней суммирующего механизма, дающего возможность алгебраически складывать вращательные движения, передаваемые простыми, одновременно действующими кинематическими цепями для передачи суммарного движения в общую систему сложной кинематической цепи. В качестве суммирующих механизмов применяют дифференциальные и планетарные передачи.

## 2. НАСТРОЙКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Под настройкой кинематических цепей следует понимать обеспечение необходимого отношения скоростей движения исполнительных органов станка или заданных расчетных перемещений исполнительных органов станка.

Кроме термина «настройка станка» имеется термин «наладка станка». Их не следует смешивать. Под наладкой станка следует понимать обеспечение правильной установки режущего инструмента и заготовки, расстановки упоров, ограничивающих перемещение рабочего органа, смазки и ряд других операций. Расчетными перемещениями принято называть перемещения рабочих органов — конечных звеньев кинематических цепей, совершающиеся в течение какого-либо промежутка времени. Расчетные перемещения могут быть угловые, линейно-угловые и линейные. Приведем ряд примеров.

**Угловые перемещения.** При нарезании зубьев цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой за один оборот стола с заготовкой фреза должна совершить число оборотов, равное  $\frac{z}{k}$ , где  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса, а  $k$  — число заходов ее. Расчетные перемещения оправки фрезы и стола можно записать так:

1 об.стол →  $z$  об. фрезы.

Приведем другой пример. Частота вращения электродвигателя  $n_{дв}$  (об/мин), необходимо найти частоту вращения оправки фрезы  $n_{фр}$  (об/мин). В этом случае расчетные перемещения запишутся так:

$$n_{дв} \rightarrow n_{фр}$$



**Линейно-угловые перемещения.** Речь идет о согласовании вращательного движения с поступательным. При нарезании зубьев цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой за один оборот стола с заготовкой фреза должна переместиться вдоль оси колеса на величину  $s$ , называемую подачей. Для этого случая расчетные перемещения (мм) запишутся так:

1 об. стола  $\rightarrow s$  перемещений фрезы.

При нарезании цилиндрических прямозубых колес гребенкой (рейкой) необходимо, чтобы за то время, когда заготовка (стол) повернется на величину  $\frac{1}{z}$ , стол при этом переместится прямолинейно на величину  $\pi m$  ( $z$  — число зубьев нарезаемого колеса). Расчетные перемещения (мм) при этом запишутся так:

$\frac{1}{z}$  об. стола  $\rightarrow \pi m$  перемещений стола.

Следовательно, шпиндель, на котором закреплено колесо-заготовка, и винт, перемещающий ее поступательно, должны быть связаны жесткой кинематической цепью, обеспечивающей возможность согласования вращательного движения с поступательным.

**Линейные перемещения.** При нарезании цилиндрических зубчатых колес методом диагонального зубофрезерования необходимо, чтобы за время перемещения фрезы на заданную величину вертикальной подачи  $s_b$  (мм/об) она одновременно переместилась вдоль своей оси на величину  $s_0$ , измеряемую в тех же единицах. Расчетные перемещения в этом случае запишутся таким образом:

$$s_b \rightarrow s_0.$$

Для сообщения исполнительным органам необходимых расчетных перемещений кинематические цепи, связывающие их, должны иметь узлы настройки. Узлами настройки могут быть коробки скоростей или подач, а также гитары со сменными зубчатыми колесами. Установкой рычагов на корпусах коробок скоростей и подач получают изменение частоты вращения инструмента и подачи. В случае же применения гитар подбирают для нее сменные зубчатые колеса так, чтобы по заданному передаточному отношению кинематических цепей обеспечить заданные перемещения.

Рассмотрим ряд примеров, поясняющих методику настройки кинематических цепей станков. Для этой цели применим метод расчленения заданной кинематической схемы на ряд простых и сложных цепей (состоящих из двух простых), из которых она состоит. Овладение методом расчленения кинематической схемы станка способствует успешному и творческому изучению станка.

На рис. 26, а приведена кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 532. На рис. 26, б приведена простая кинематическая цепь, связывающая электродвигатель  $M$  с червячной фрезой. Это главное движение обеспечивает необходимую скорость вращения червячной фрезы и, следовательно, нужную скорость резания при нарезании зуб-

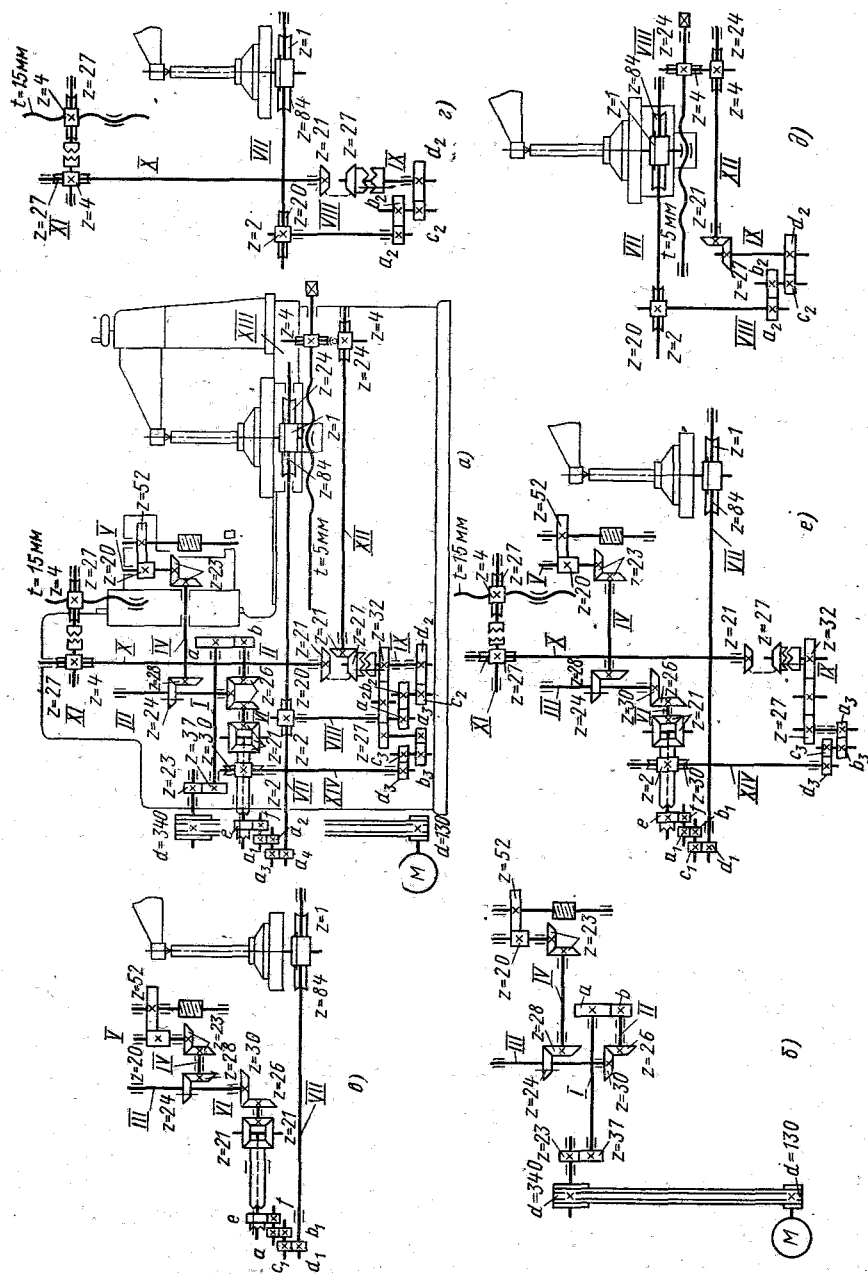


Рис. 26. Кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 532

чатых колес. В данном случае следует согласовать угловые перемещения электродвигателя с червячной фрезой.

От вала электродвигателя  $M$  движение передается через клиноременную передачу  $\frac{130}{340}$ , колеса  $\frac{23}{37}$ , вал  $I$ , сменные колеса гитары скоростей  $\frac{a}{b}$ , вал  $II$ , конические колеса  $\frac{26}{30}$ , вал  $III$ , конические колеса  $\frac{24}{28}$ , вал  $IV$ , конические колеса  $\frac{23}{23}$ , вал  $V$ , колеса  $\frac{20}{52}$  червячной фрезе.

Для этой цепи расчетные перемещения запишутся так:

950 об/мин  $\rightarrow n$  об/мин фрезы;

$$950 \cdot 0,985 \frac{130}{340} \frac{23}{37} \frac{a}{b} \frac{26}{30} \frac{24}{28} \frac{23}{23} \frac{20}{52} = n,$$

$$\text{откуда } \frac{a}{b} = \frac{n}{117},$$

где 0,985 — коэффициент, учитывающий скольжения ремня.

Скорость резания  $v = \frac{\pi d n}{1000}$ , откуда  $n = \frac{1000v}{\pi d}$ , подставим в формулу  $\frac{a}{b} = \frac{n}{117} = \frac{1000}{117\pi d}$ , откуда  $\frac{a}{b} = 2,72 \frac{v}{d}$ .

Зная диаметр фрезы  $d$ , подбираем скорость  $v$  по нормативам и определяем передаточное отношение сменных колес  $\frac{a}{b}$ .

**Гитара деления.** Делительным движением обеспечивают за один оборот фрезы поворот заготовки на  $\frac{k}{z}$  оборота, где  $k$  — число заходов фрезы, а  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса, — согласование угловых перемещений стола (заготовки) с червячной фрезой (рис. 26, в).

От червячной фрезы через колеса  $\frac{52}{20}$ , вал  $V$ , колеса  $\frac{23}{23}$ , вал  $IV$ , колеса  $\frac{28}{24}$ , вал  $III$ , колеса  $\frac{30}{26}$ , вал  $VI$ , конический дифференциал, колеса  $\frac{e}{f}$ , сменные колеса гитары деления  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , вал  $VII$ , червячную передачу  $\frac{1}{84}$  движение передается столу (заготовке).

Для делительной цепи расчетные перемещения запишутся так:

1 об. фрезы  $\rightarrow \frac{k}{z}$  об. стола (заготовки);

$$1 \frac{52}{20} \frac{23}{23} \frac{28}{24} \frac{30}{26} i_d \frac{e}{f} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{1}{84} = \frac{k}{z},$$

откуда передаточное отношение сменных колес гитары деления

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z i_d \frac{e}{f}},$$

где  $i_d$  — передаточное отношение дифференциала;  $\frac{e}{f}$  — вспомогательная гитара деления.

**Гитара вертикальной подачи.** Вертикальным перемещением фрезы (рис. 26, *з*) обеспечивают нарезание зуба по всей его длине при заданной подаче  $s_v$  на оборот стола (заготовки). В этом случае согласованы линейно-угловые перемещения фрезы и стола.

Кинематическая связь между вертикальным перемещением фрезы и угловым перемещением стола осуществляется по следующей цепи: стол станка, червячная передача  $\frac{84}{1}$ , вал VII, червячная передача  $\frac{2}{20}$ , вал VIII, сменные колеса гитары вертикальной подачи  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$ , вал IX, конические колеса  $\frac{27}{21} \frac{21}{21}$ , вал X, червячная передача  $\frac{4}{27}$ , вал XI, червячная передача  $\frac{4}{27}$ , винт вертикальной подачи с шагом  $t = 15$  мм.

Для цепи вертикальной подачи расчетные перемещения запишутся так:

1 об. стола  $\rightarrow s_b$  мм/об. стола;

$$1 \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{20} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{4}{27} \cdot 15 = s_v,$$

откуда

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{9}{32} s_v.$$

**Гитара горизонтальной подачи** (рис. 26, *д*) — кинематическая связь между вращением стола и его горизонтальным перемещением, применяемая при нарезании червячных колес методом радиальной подачи. Согласование вращательного движения стола с поступательным происходит по следующей цепи: стол станка, червячная передача  $\frac{84}{1}$ , вал VII, червячная передача  $\frac{2}{20}$ , вал VIII, сменные колеса гитары горизонтальной подачи  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$ , вал IX, конические колеса  $\frac{27}{21}$ , вал XII, червячная передача  $\frac{4}{24}$ , вал XIII, червячная передача  $\frac{4}{24}$ , винт горизонтальной подачи с шагом  $t = 5$  мм.

Для цепи горизонтального перемещения стола расчетные перемещения будут

1 об. стола  $\rightarrow s_r$  мм/об. стола;

$$1 \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{20} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{4}{24} \cdot \frac{4}{24} \cdot 5 = s_r,$$

откуда

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{2}{3} s_r.$$

**Сложная кинематическая цепь** (рис. 26, *е*) применяется при дифференциальных настройках, о которой рассказывается в следующем параграфе.

Таким образом, при изучении любого зубообрабатывающего станка необходимо его кинематическую схему расчленить на ряд простых,

как это показано на примере зубофрезерного станка мод. 532. Рассмотрение каждой простой кинематической цепи в отдельности — это наиболее доходчивый путь изучения работы станков и особенно таких сложных, как зубообрабатывающие станки.

### 3. СЛОЖНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Рассмотрим применение сложных кинематических цепей на примере нарезания цилиндрических колес с косыми зубьями, но вначале отметим, как происходит нарезание прямозубых цилиндрических колес. Для их нарезания необходимо настроить гитару деления по формуле  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z}$  и гитару вертикальной подачи по формуле  $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{9}{32} s_B$ . Расчетные формулы взяты применительно к зубофрезерному станку мод. 532. Настройка станка на нарезание косозубых колес отличается от настройки станка на нарезание прямозубых колес.

На рис. 27 приведена схема нарезания червячной фрезой цилиндрического колеса с косыми зубьями. Наклон зуба под углом  $\beta$  необходимо получить в процессе вертикального перемещения фрезы, параллельного оси нарезаемого колеса, для этого необходимо осуществить изменения в расчетных перемещениях фрезы и нарезаемого колеса по сравнению с расчетными перемещениями при нарезании прямозубых колес, с тем, чтобы получить винтовое направление зуба нарезаемого колеса.

Осуществить это можно двумя способами: кинематически и конструктивным изменением.

В процессе перемещения фрезы (движение подачи) на расстояние  $T$ , равное шагу винтовой линии зуба, столу с заготовкой сообщают один дополнительный оборот или фрезе сообщают дополнительное число оборотов, равное  $\pm z$ . Дополнительные обороты стола или фрезы осуществляют с помощью дифференциала. Поэтому эта настройка носит название дифференциальной, т. е. применяют сложную кинематическую цепь (рис. 26, е). Знак плюс или минус выбирают в зависимости от угла наклона зуба нарезаемого колеса в направлении витка червячной фрезы (правая или левая). Этот способ наиболее распространен.

Изменением соотношения вращения фрезы и заготовки путем соответствующей настройки гитары деления. Этот способ известен под названием бездифференциальной настройки, или другими словами, применяют простую кинематическую цепь. Таким образом, первый и второй способы дают возможность нарезать косозубые колеса путем изменения соотношения расчетных перемещений между фрезой и нарезаемым колесом.

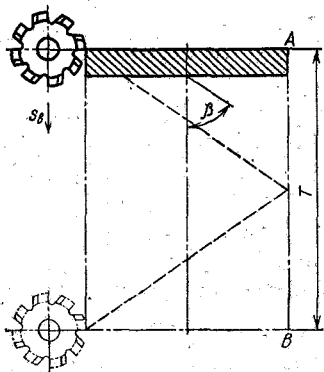


Рис. 27. Схема нарезания косозубого колеса червячной фрезой

Сущность конструктивных изменений состоит в том, что направляющие, по которым перемещают фрезерную головку с червячной фрезой, устанавливают на угол  $\beta$ , равный углу наклона зуба у нарезаемого зубчатого колеса, а в остальном настройка и наладка станка осуществляются, как и для нарезания прямозубых колес. Таким образом, поступательное движение фрезы направлено вдоль зуба нарезаемого колеса. Для такого способа необходим специальный станок с поворотными и точно устанавливаемыми направляющими.

Перейдем к выявлению расчетных перемещений при нарезании косозубых цилиндрических колес. На чертежах зубчатых колес обычно указывают угол наклона зубьев и оси колеса. Изготавливая колеса, стремятся выдержать величины углов наклона с высокой степенью точности, так как от этого существенно зависит качество зацепления. Чтобы изготовить колесо с заданным углом наклона, необходимо точно определить, на сколько оборотов следует при данном угле наклона уменьшить или увеличить частоту вращения фрезы относительно заготовки. Эту дополнительную частоту вращения будем определять, полагая, что ширина колеса равна шагу витка зуба  $T$  (см. рис. 27). Если на таком колесе сосчитать число зубьев, встречающихся по всей длине образующей  $AB$ , то окажется, что оно будет равно числу зубьев нарезаемого колеса. Отсюда следует, что витки фрезы, находящиеся в зацеплении с зубьями неподвижного косозубого колеса, при перемещении вниз на величину  $T$  будут встречаться со всеми  $z$  зубьями колеса, и фреза должна иметь за это время частоту вращения, равную числу зубьев колеса  $z$ , если фреза однозаходная, или  $\frac{z}{k}$  оборотов, когда она имеет  $k$  заходов. Направление вращения фрезы, находящейся в зацеплении с правозаходными зубьями колеса, будет противоположно направлению, возникающему при зацеплении ее с левозаходными зубьями; поэтому в одном случае необходимо увеличить частоту вращения фрезы, а в другом — уменьшить.

Значение  $\frac{z}{k}$  есть величина, на которую должна быть уменьшена или увеличена та самая частота вращения фрезы, которую бы она совершила, нарезая прямозубое колесо шириной  $T$ . Иначе,  $\frac{z}{k}$  — это дополнительная частота вращения фрезы относительно общей частоты вращения заготовки за указанный период. Если величина вертикальной подачи  $s_B$  и ширина колеса  $T$ , то за время, когда фреза переместится на величину  $T$  и нарежет зубья на колесе по всей длине, стол с заготовкой совершит  $\frac{T}{s_B}$  оборотов.

При нарезании прямозубого колеса фреза за это же время совершит  $\frac{T}{s_B} \cdot \frac{z}{k}$  оборотов, потому что за оборот стола она совершит  $\frac{z}{k}$  оборотов. Если нарезают косозубое колесо, то общее число оборотов фрезы за период ее перемещения на величину  $T$  должно быть уменьшено или увеличено на величину  $\frac{z}{k}$ .

Расчетные перемещения для стола и фрезы при нарезании косозубых колес с зубьями, ширина которых равна  $T$ , запишутся так:

$$\frac{T}{s_B} \text{ об. заготовки} \rightarrow \left( \frac{T}{s} \frac{z}{k} \pm \frac{z}{k} \right) \text{ об. фрезы.}$$

Эти расчетные перемещения могут быть отнесены и к одному обороту стола,

$$I \text{ об. заготовки} \rightarrow \frac{z}{k} \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T} \text{ об. фрезы.}$$

Сравнивая эти расчетные перемещения с перемещениями, относящимися к случаю нарезания прямозубых колес, заметим, что при нарезании косозубых колес фреза за один оборот стола совершит дополнительное число оборотов, равное  $\pm \frac{z s_B}{k T}$ . Благодаря этому дополнительному числу оборотов нарезаются колеса не прямозубые, а косозубые.

Первое слагаемое  $\frac{z}{k}$  обеспечивается гитарой деления (простая цепь), второе слагаемое  $\pm \frac{z s_B}{k T}$  также должно обеспечиваться второй простой цепью. Движения, передаваемые простыми кинематическими цепями, должны суммироваться с помощью специальных механизмов. Возможность суммирования двух вращательных движений — это замечательное свойство дифференциальных передач.

Чтобы составить уравнения расчетных перемещений для сложной кинематической цепи, необходимо знать, как работают дифференциальные передачи и каковы передаточные отношения между его валами. В качестве суммирующих механизмов рассмотрим два дифференциальных механизма: один с цилиндрическими зубчатыми колесами, а другой — с коническими зубчатыми колесами.

На рис. 28, а приведен дифференциал с цилиндрическими зубчатыми колесами. Он состоит из валов  $I$  и  $III$ , называемых центральными, и водила  $II$  (корпус механизма, в котором расположены колеса  $z_1, z_2, z_3$  и  $z_4$ ). Зубчатые колеса  $z_2$  и  $z_3$  называют сателлитами и вместе с валом, на котором они посажены, перемещаются в пространстве, сцепляясь соответственно с колесами  $z_1$  и  $z_4$ . Из трех звеньев дифференциа-

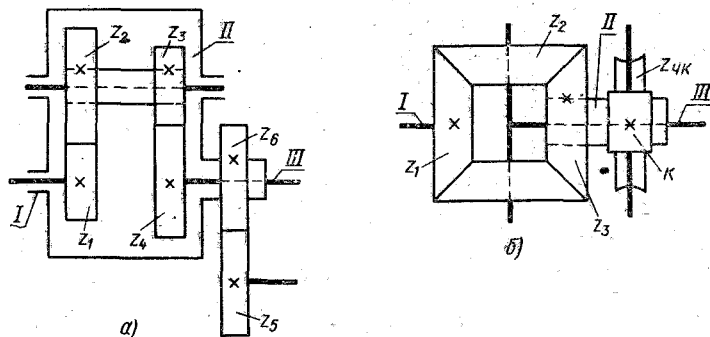


Рис. 28. Схемы суммирующих механизмов

ла I, II и III два любых могут вращаться независимо друг от друга в любых направлениях, с любой скоростью. Третье звено при этом будет совершать число оборотов, равное алгебраической сумме оборотов ведущих звеньев передачи.

Из ряда методов для определения передаточных отношений дифференциальных передач примем табличный метод или правило Свампа как простой и удобный метод. Для разбираемого трехзвенного механизма характерны следующие случаи передачи движений.

*Случай 1.* Вал I — ведущий; водило II — неподвижное; вал III — ведомый.

В этом случае передача работает как обычная и передаточное отношение

$$i_{I-III} = \frac{z_1}{z_2} \frac{z_3}{z_4}.$$

*Случай 2.* Вал I — неподвижный; водило II — ведущее; вал III — ведомый.

Водило II получает вращение через колеса  $\frac{z_5}{z_6}$ . Для определения передаточного отношения применим правило Свампа, решаемое в два приема, составив для этого табл. 4, в которой укажем заданные звенья системы.

Таблица 4

Расчет передаточных отношений

Прием	Звенья системы		
	Вал I	Водило II	Вал III
Первый	+1	+1	+1
Второй	-1	0	
Суммарное движение	0	1	$1 - \frac{z_1}{z_2} \frac{z_3}{z_4}$

**Первый прием.** Представим, что этот механизм жесткий, повернем все его звенья I, II и III по часовой стрелке на +1 оборот. Запишем это в таблице. Другими словами, звеньям I, II, III сообщим по одному обороту в одном направлении.

**Второй прием.** Согласно условию вал I должен быть неподвижным, следовательно, необходимо этому валу сообщить еще один оборот, но в обратном направлении и рассмотреть эту передачу как обычную. Следовательно, передаточное отношение

$$i_{II-III} = 1 - \frac{z_1}{z_2} \frac{z_3}{z_4}$$

*Случай 3.* Звенья I и II — ведущие, вал III — ведомый. Если частоты вращения звеньев I, II, III соответственно равны  $n_1$ ,  $n_{II}$  и  $n_{III}$ , то

$$n_{III} = n_1 \frac{z_1}{z_2} \frac{z_3}{z_4} + n_{II} \left( 1 - \frac{z_1}{z_2} \frac{z_3}{z_4} \right).$$



Таким образом, частоты вращения  $n_1$  и  $n_{II}$  алгебраически суммируются и передаются на вал  $n_{III}$ ; если направления обоих вращений совпадают, то частота вращения ведомого вала будет больше, чем в случае, когда направления вращений противоположны.

Большое применение в металлорежущих станках как суммирующий механизм получил конический дифференциал (рис. 28, б). На валу I жестко установлено коническое зубчатое колесо  $z_1$ . Вал II — полый и жестко связан как с коническим колесом  $z_3$ , так и с червячным колесом. Вал III снабжен поперечной осью (Т-образный вал), на котором установлены два колеса  $z_2$ . Числа зубьев конических колес одинаковы.

Найдем передаточные отношения конического дифференциала для тех же случаев, которые были приняты для дифференциала с цилиндрическими зубчатыми колесами.

*Случай 1.* Вал I — ведущий; вал II — неподвижный; вал III — ведомый.

В этом случае передача работает как обычная и ее передаточное отношение  $i_{I-III} = 1$ .

*Случай 2.* Вал II — неподвижный; вал II — ведущий; вал III — ведомый.

Вал II получает вращение от червячной передачи  $\frac{k}{z_{чк}}$ , где  $k$  — число заходов червяка;  $z_{чк}$  — число зубьев червячного колеса. Для определения передаточного отношения применим правило Свампа или табличный метод. Составим для этого табл. 5, в которой укажем заданные звенья системы.

Таблица 5

Расчет передаточных отношений

Прием	Звенья системы		
	Вал I	Вал II	Вал III
Первый	+1	+1	+1
Второй	-1	+1	0
Суммарное движение	0	2	1

Следовательно, передаточное отношение от вала II к валу III  $i_{II-III} = \frac{1}{2}$ .

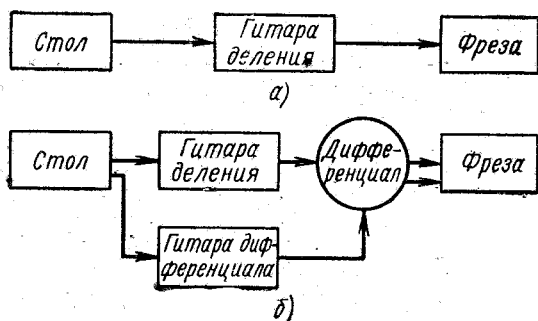
*Случай 3.* Валы I и II — ведущие, вал III — ведомый. Если частота вращения валов I, II и III соответственно равна  $n_1$ ,  $n_{II}$  и  $n_{III}$ , то

$$n_{III} = \frac{1}{2} (n_1 \pm n_2).$$

Ознакомившись в принципе работы дифференциала, можно приступить к составлению уравнений перемещений при нарезании цилиндрических косозубых колес методом бездифференциальной и дифференциальной настроек.

Рис. 29. Блок-схемы кинематических цепей зубофрезерного станка:

а — простая; б — сложная



**Бездифференциальная настройка при нарезании косозубых колес.** При нарезании косозубых колес на станке, у которого нет дифференциала, настройку можно производить по методу бездифференциальной настройки, используя цепь деления с гитарой деления (рис.29, а). Для этого случая уравнение перемещений для основной цепи запишется в таком виде:

$$\left( \frac{z}{k} \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T} \right) \frac{52}{20} \frac{23}{23} \frac{28}{24} \frac{30}{26} i_{\text{диф}} \frac{e}{f} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{1}{84} = 1,$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z} \frac{1}{i_{\text{диф}}} \frac{f}{e} \frac{T}{T \pm s_B}.$$

Так как  $i_{\text{диф}} = 1$  и, принимая  $\frac{e}{f} = 1$ , получим

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z} \frac{T}{T \pm s_B}.$$

Величину шага спирали зуба колеса можно определить по формуле

$$T = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta},$$

где  $m_n$  — нормальный модуль косозубого колеса, мм.

При подстановке в формулу сменных колес гитары деления следует подставлять точное фактическое значение величины вертикальной подачи, выраженное через принятые сменные колеса гитары вертикальной подачи. Сменные колеса вертикальной подачи при нарезании косозубых колес определяют по формуле

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{9}{32} s_B.$$

Знаки в формуле гитары деления выбирают согласно условиям, указанным в табл. 6.

Величину передаточного отношения выбирают не менее шести знаков после запятой с тем, чтобы получить меньшее отклонение величины угла наклона зуба от заданного.

Таблица 6

Направление винтовой линии в зависимости от метода зубонарезания

Направление винтовой линии		Метод зубонарезания	
зубьев нарезаемого колеса	витков червячной фрезы	Попутный	Встречный
Правое	Правое Левое	$+$ $-$	$-$ $+$
Левое	Правое Левое	$-$ $+$	$+$ $-$

**Дифференциальная настройка при нарезании косозубых колес.** При дифференциальной настройке вращательные движения фрезы и стола согласовывают не одной, а двумя одновременно действующими и настраиваемыми цепями: основной и дополнительной. При сложной настройке (рис. 29, б) по основной цепи фрезе за оборот стола сообщают  $\frac{z}{k}$  оборотов. Следовательно, фрезу настраивают, как при нарезании прямозубых колес (рис. 29, а).

Дополнительной же цепью фрезе за тот же оборот заготовки сообщают добавочное вращение, равное  $\pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}$ ; поэтому расчетные перемещения для дополнительной цепи должны быть записаны так:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}.$$

Дополнительная цепь, связывающая вращательные движения фрезы и заготовки (см. рис. 26): заготовка-стол, червячная пара  $\frac{84}{1}$ , вал VII, червячная пара  $\frac{2}{20}$ , вал VIII, сменные колеса гитары вертикальной подачи  $\frac{a_2 c_3}{b_2 d_2}$ , вал IX, колеса  $\frac{32}{27}$ , сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_3 c_3}{b_3 d_3}$ , вал XIV, червячная передача  $\frac{2}{30}$ , конический дифференциал, вал VI, колесо  $\frac{26}{30}$ , вал III, колесо  $\frac{24}{28}$ , вал IV, колеса  $\frac{23}{23}$ , вал V, колеса  $\frac{20}{52}$ , червячная фреза.

Уравнение перемещений дополнительной цепи запишется так:

$$1 \frac{84}{1} \frac{2}{20} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_3}{d_2} \frac{32}{27} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{2}{30} 1 \frac{26}{30} \frac{24}{28} \frac{23}{23} \frac{20}{52} = \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}.$$

Передаточное отношение дифференциала равно 1, передаточное отношение сменных колес  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2} = \frac{9}{32} s_B$ , подставляя значения в форму-

лу, приведенную выше, получим

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{75}{4} \frac{z}{kT}.$$

Если вместо  $T$  подставить его значение, равное  $\frac{\pi m z}{\sin \beta}$ , то получим формулу для подбора сменных колес гитары дифференциала

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{5,98831 \sin \beta}{km}.$$

Чем с большей точностью будет осуществлен подбор сменных зубчатых колес, тем меньше будет отклонение угла наклона зуба от заданного.

В чем основное преимущество сложных кинематических цепей? Покажем это на примере. Допустим, что необходимо подобрать сменные зубчатые колеса для передаточного отношения  $i = 1,57$  с точностью  $\pm 1\%$  (точность грубая). В случае простой цепи точность передаточного отношения  $i$  может быть

$$i = 1,57 + 0,01 \cdot 1,57 = 1,5857; \quad i = 1,57 - 0,01 \cdot 1,57 = 1,5543. \}$$

Сложная кинематическая цепь дает возможность представить заданное передаточное отношение как сумму передаточных отношений, передаваемых исполнительному органу станка простыми параллельными, одновременно действующими цепями, входящими в состав сложной цепи. Поэтому представим величину  $i$  как сумму  $i = 1,5 + 0,07$ . Первое слагаемое  $i = 1,5$  подбираем точно, а второе слагаемое  $0,07$  — с точностью  $\pm 1\%$ , тогда

$$i = 1,5 + 0,07 + 0,01 \cdot 0,07 = 1,5707; \quad i = 1,5 + 0,07 - 0,01 \cdot 0,07 = 1,5693.$$

Из этого примера наглядно видно, что, используя сложную кинематическую цепь, можно существенно повысить точность общего передаточного отношения, подбирая с заданной точностью не все передаточное отношение, а только его незначительную часть. Это дает возможность, имея небольшой набор сменных зубчатых колес, подбирать общее передаточное отношение с высокой степенью точности. Поэтому не случайно все зубообрабатывающие станки универсального типа изготавливают со сложными кинематическими цепями для создания удобств при настройке станков.

**Сложные кинематические цепи как средство получения точных настроек.** Часто, например, требуется нарезать колеса, число зубьев которых выражается простыми числами: 107, 109, 113, 119, 157 и т. д. Для нарезания таких колес в каждом отдельном случае потребовалось бы изготовить специальные сменные колеса. Каждое из них должно иметь число зубьев, равное числу зубьев нарезаемого колеса. При наличии двух цепей согласования вращения заготовки и фрезы необходимость в изготовлении специальных колес отпадает, так как в этом случае осуществляют сложную настройку.

Расчетные перемещения

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \frac{z}{k} \text{ об. фрезы}$$

записываются в виде

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \frac{z_0 \pm \Delta z}{k} \text{ об. фрезы}$$

или

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \frac{z_0}{k} \pm \frac{\Delta z}{k} \text{ об. фрезы,}$$

где  $z = z_0 + \Delta z$ .

Число  $\frac{z_0}{k}$  оборотов сообщают фрезе по основной цепи, а  $\pm \frac{\Delta z}{k}$  оборотов — по дополнительной. Таким образом, гитару деления настраивают не на заданное число зубьев нарезаемого колеса  $z$ , а на величину  $z_0$ , которая мало отличается от  $z$ . Следовательно, настраивают гитару деления с погрешностью, которую компенсируем соответствующей настройкой гитары дифференциала — дополнительной цепью.

Вернемся к станку мод. 532 и рассмотрим случай, когда нарезаемое колесо имеет простое число зубьев. Сменные колеса гитары деления подбирают по формуле

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{48k}{z \pm \Delta z}.$$

Для определения сменных колес гитары дифференциала (см. рис. 28) напишем расчетные перемещения:

$$1 \text{ об. стола} \rightarrow \frac{\Delta z}{k} \text{ об. фрезы;}$$

$$1 \frac{84}{1} \frac{2}{20} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{32}{27} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{2}{30} 1 \frac{26}{30} \frac{24}{28} \frac{23}{23} \frac{20}{52} = \frac{\Delta z}{z}.$$

Принимая  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2} = \frac{9}{32} s_B$  и подставляя его в уравнение, будем иметь

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{75 \Delta z}{4 k s_B}.$$

Обе гитары в этом случае должны быть настроены точно. Значение  $\Delta z$  должно быть меньше единицы во избежание большого ускорения на гитаре дифференциала. Значение  $s_B$  должно быть подставлено точное, выраженное через сменные колеса гитары подачи.

#### 4. СПОСОБЫ ПОДБОРА СМЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Подбор сменных зубчатых колес начинают с того, что подставляют в расчетную формулу настройки заданные величины расчетных перемещений рабочих органов станка. Далее, согласно имеющемуся набору сменных зубчатых колес подбирают их так, чтобы отношение чисел зубьев принятых колес было равно теоретически расчетному передаточному отношению настраиваемой гитары. Но не всегда это можно обеспечить. Поэтому различают два вида настроек: точную и приближенную.

При точной настройке передаточное отношение подобранных сменных зубчатых колес равно теоретическому.

**Пример.** Подобрать сменные колеса гитары деления при нарезании прямозубого колеса с числом зубьев  $z = 60$  на зубофрезерном станке однозаходной червячной фрезой. Передаточное отношение гитары деления станка  $i = \frac{24k}{z}$ .

**Решение.** Как правило, гитара станка состоит из двух пар зубчатых колес. Передаточное отношение обеспечивают четырьмя сменными колесами и оно может быть представлено формулой  $i = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{24k}{z}$ ,

где  $a, c$  — числа зубьев ведущих зубчатых колес;  $b, d$  — числа зубьев ведомых зубчатых колес.

При  $k = 1$  и  $z = 60$  имеем

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{24}{60} = \frac{4 \cdot 6}{5 \cdot 12} = \frac{40}{50} \frac{60}{120}.$$

При подборе сменных зубчатых колес использован пятковый набор, в котором имеются зубчатые колеса с числами зубьев от 20 до 120, оканчивающимися на 0 и 5.

Часто расчетные перемещения исполнительных органов станка выражают иррациональным или трансцендентным числом, т. е. таким, когда сомножителем является число  $\pi$ , тригонометрическая функция и др. Передаточное отношение при этом получается в виде бесконечной десятичной дроби, и поэтому точный подбор сменных зубчатых колес, как правило, невозможен и приходится применять приближенный способ подбора сменных колес с таким расчетом, чтобы допущенная погрешность находилась в поле допуска на получение заданного размера детали. Это приводит к необходимости подбирать передаточные отношения сменных колес с точностью до седьмого, восьмого и даже девятого знака после запятой. Подбор сменных колес с такой высокой степенью точности требует большой затраты времени на проведение вычислений.

Существует несколько различных способов приближенного подбора сменных зубчатых колес гитар станков, к их числу следует отнести метод непрерывных дробей, логарифмический, подбор на счетной линейке в сочетании с арифмометром, замена характерных передаточных отношений их приближениями и ряд других. Подбор сменных зубчатых колес существенно облегчается, если пользоваться специальными таблицами, составленными для очень большого числа передаточных отношений.

**Условия сцепляемости сменных колес.** Подобранные сменные колеса следует проверить на сцепляемость, прежде чем поместить их на гитаре. Для получения условий сцепляемости рассмотрим рис. 30. Расстояния между осями колес  $l_1$  и  $l_2$  соответственно

$$l_1 = \frac{am}{2} + \frac{bm}{2} \text{ и } l_2 = \frac{cm}{2} + \frac{dm}{2}$$

или, вынося  $\frac{m}{2}$  за скобки, имеем

$$l_1 = \frac{m}{2}(a+b) \text{ и } l_2 = \frac{m}{2}(c+d).$$

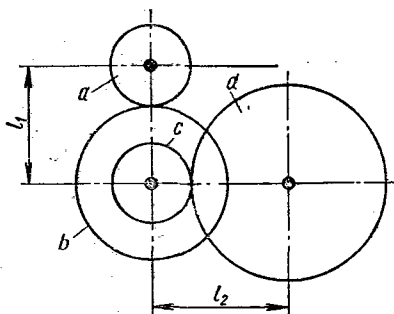


Рис. 30. Расположение сменных зубчатых колес

Для сцепления колес необходимо, чтобы

$$l_1 > \frac{cm}{2} \text{ и } l_2 > \frac{bm}{2}$$

или  $\frac{m}{2}(a+b) > \frac{cm}{2}$

$$\text{и } \frac{m}{2}(c+d) > \frac{bm}{2},$$

сократив на  $\frac{m}{2}$ , имеем

$$a+b > c \text{ и } c+d > b.$$

Для размещения сменных колес на гитаре необходимо, чтобы  $a+b > c + (15 \div 20)$  и  $c+d > b + (15 \div 20)$ . Добавлением  $(15-20)$  гарантируют, что головки зубьев колес  $b$  и  $c$  не будут задевать валики, на которых расположены колеса  $a$  и  $d$ .

**Пример.** Проверить на сцепляемость

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{50}{70} \frac{45}{55}.$$

Решение. Примем  $a+b > c+15$  или  $50+70 > 45+15$ ;  $120 > 60$ ;  $a+d > b+15$  или  $45+55 > 70+15$ ;  $100 > 85$ .

Вывод. Сцепление колес возможно.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

### ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

#### 1. КОМПОНОВКА ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Любой металлорежущий станок состоит из ряда отдельных узлов, каждый из которых отвечает определенному назначению. К их числу следует отнести корпусные узлы, узлы обрабатываемой детали и режущего инструмента. Корпусные узлы составляют основу станка, к ним относят станину, стойки траверсы, колонны. Узел обрабатываемой детали — это стол и поддерживающая стойка, определяющие положение и характер движения нарезаемого зубчатого колеса. Узел режущего инструмента — это суппорт, определяющий положение и характер относительного движения режущего инструмента.

Под компоновкой станка понимают объединение и увязку отдельных узлов и его механизмов в единое целое. Расположить основные узлы станка необходимо так, чтобы обеспечить удобное управление и наблюдение за работой станка со стороны зуборезчика при выполнении заданного технологического процесса.

Большое разнообразие конструктивных форм и размеров зубчатых колес потребовали появление и разнообразных конструктивных оформлений зубофрезерных станков (рис. 31). Зубофрезерные станки по положению оси нарезаемого колеса делятся на вертикальные и горизонтальные. На вертикальных зубофрезерных станках ось вертикальна. Наибольшее применение в практике зубонарезания имеют вертикальные зубофрезерные станки, которые изготавливают в двух исполнениях: с перемещающимся столом и неподвижной стойкой (рис. 31, а) и с перемещающейся стойкой и неподвижным столом (рис. 31, б). Небольшие вертикальные зубофрезерные станки изготавливают с подвижным столом и неподвижной стойкой, станки средних размеров — как с подвижным столом и неподвижной стойкой, так и с подвижной стойкой и неподвижным столом, а вертикальные зубофрезерные крупных размеров — с подвижной стойкой и неподвижным столом.

Зубофрезерные станки горизонтального типа изготавливают также в двух исполнениях: с подвижной шпиндельной бабкой, несущей нарезаемое колесо (рис. 31, в), и с подвижным суппортом, несущим червячную фрезу (рис. 31, г). В первом случае нарезаемое колесо одним концом закрепляют в шпинделе бабки, а другой конец поддерживает задним центром. Червячная фреза, закрепляемая на оправке фрезерного суппорта, расположена над нарезаемым колесом и перемещается по горизонтальным направляющим станины станка. Шпиндельная бабка совместно с задним центром и обрабатываемым колесом осуществляет процесс радиального врезания. Эти станки предназначены для нарезания зубчатых колес малых диаметров, шлицевых валиков

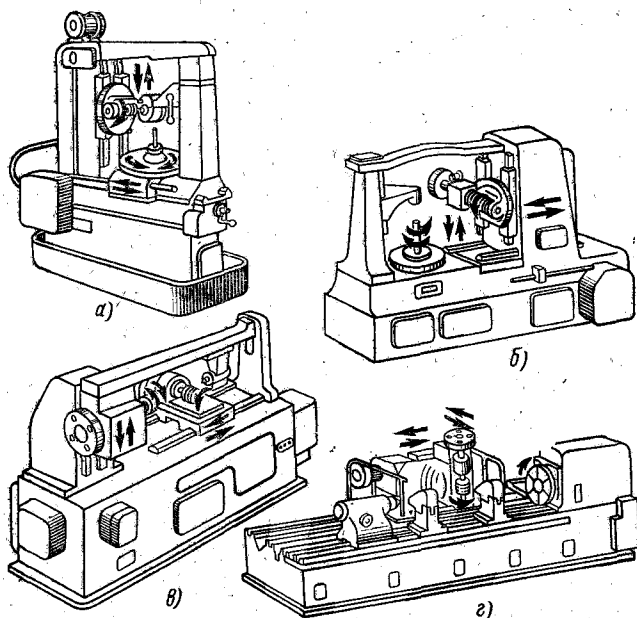


Рис. 31. Типы зубофрезерных станков



и цилиндрических колес, изготавливаемых за одно целое с валом. Во втором случае нарезаемое колесо одним концом закрепляют в шпинделе, а другой — поддерживается одним или двумя люнетами. Кроме люнетов иногда для поддержания колеса предусматривают заднюю бабку. Червячную фрезу располагают за нарезаемым колесом и закрепляют на оправке фрезерного суппорта, который перемещается по горизонтальным направляющим станины. Врезание на глубину зуба производится перемещением фрезерного суппорта перпендикулярно оси обрабатываемого колеса. Несмотря на большое разнообразие зубофрезерных станков, все они работают по одной принципиальной кинематической схеме.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

По классификации станков, принятой в СССР, группе зубообрабатывающих и резбобрабатывающих станков присвоена цифра 5. Группы делятся на типы (2 — цифра шифра), а типы делятся по их размерам или по размерам обрабатываемых деталей — всего девять групп станков, а в каждой группе по девять типов. Типы зубообрабатывающих и резбобрабатывающих станков имеют следующие цифровые обозначения: 1 — зубострогальные и зубодолбежные для цилиндрических колес (например, 516); 2 — зуборезные для конических колес (526); 3 — зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валов (5327); 4 — зубофрезерные для колес червячных (542); 5 — для обработки торцов зубчатых колес (5582); 6 — резбобофрезерные (561); 7 — шевинговальные, притирочные, контрольные и обкатные (5714); 8 — зубошлифовальные (584); 9 — разные станки.

Первая цифра шифра означает, к какой группе относится станок, вторая — к какому типу. По этим двум цифрам всегда можно определить группу и тип станка. Третья цифра шифра или третья и четвертая характеризует размер станка или обрабатываемой детали. Буква, стоящая после первой цифры шифра, означает, что данная модель станка модернизирована. Если буква стоит в конце цифрового шифра, то это означает, что на базе основной модели станка изготовлен станок с небольшими изменениями, приспособляющими этот станок к какому-либо определенному виду работ. Так, изготавливают специальный зубофрезерный станок мод. 5Д32С для обработки колес с бочкообразными зубьями.

В станкостроительной промышленности большинство изготавливаемых металлорежущих станков, в том числе и зубообрабатывающие, выпускают по государственным стандартам, в которых главные параметры отвечают нормальным или размерным рядам. Под размерным или нормальным рядом понимают группу однотипных станков, состоящих из унифицированных узлов и деталей, но каждый из этих станков предназначен для обработки деталей определенных размеров.

Ниже приведены параметры зубофрезерных станков отечественного производства.

Модель стан-  
ка

Наибольший  
диаметр на-  
резаемого ко-  
леса, мм . .

5К301	5К310	5К320	5К324	5К32	5К328	5342	5343	5345	5246	5848
125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500

За основной параметр, определяющий типоразмер зубофрезерного станка, принят наибольший диаметр нарезаемого зубчатого колеса. При этом каждая поступающая модель станка дает возможность нарезать зубчатые колеса в 1,58 раза больше, чем предыдущий. Таким образом, у зубофрезерных станков установили знаменатель размерного ряда  $\Phi = 1,58$ , т. е. ряд 125, 200, 320, ..., 12 500 образует геометрическую прогрессию со знаменателем, равным 1,58.

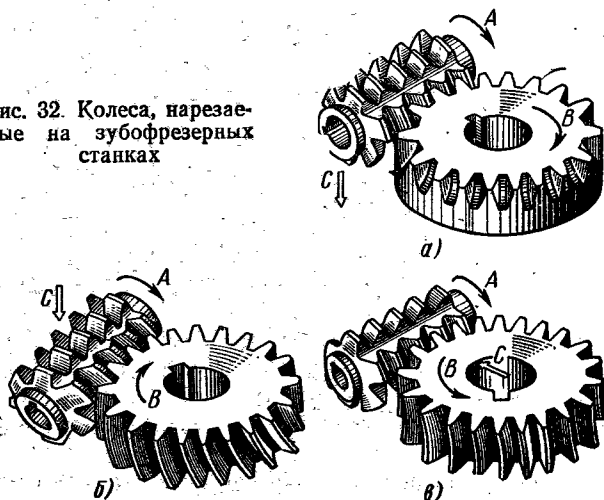
Наличие закономерно изменяющегося основного параметра станка наибольшего диаметра нарезаемого колеса дает возможность также закономерно изменять и другие характеристики станка: мощность главного привода, модуль нарезаемых колес, частоту вращения фрезы и ряд др.

Аналогично по нормальным рядам изготавливают горизонтальные зубофрезерные станки. Станки специальные и специализированные также создают по определенным размерным рядам, принимая при этом за основу станки широкого профиля.

### 3. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЙ ПОЛУАВТОМАТ МОД. 5К32

На станках этого типа можно нарезать цилиндрические прямозубые колеса (рис. 32, а) и косозубые (рис. 32, б), а также червячные колеса методами радиальной (рис. 32, в) и осевой подачи. При методе радиальной подачи заготовка может подаваться на фрезу или наоборот. По методу обкатки можно также фрезеровать шлицевые валы, много-

Рис. 32. Колеса, нарезаемые на зубофрезерных станках



гранники, нарезать зубья на цепных звездочках, храповых колесах и т. д. Для всех видов указанных специальных зацеплений применяют червячные фрезы соответствующих профилей.

Нарезание цилиндрических прямо- и косозубых колес, а также червячных колес методом радиальной подачи — это основные виды работ, к которым станок наиболее приспособлен. Нарезание колес может осуществляться как встречным методом, при котором вертикальная подача фрезы происходит сверху вниз (рис. 33, а), так и попутным методом, при котором вертикальная подача фрезы происходит снизу вверх (рис. 33, б). При попутном зубофрезеровании допускается увеличение скорости резания на 20—25% по сравнению со встречным методом при одновременном уменьшении шероховатости поверхности зуба.

На этом станке можно нарезать цилиндрические колеса диаметром до 800 мм (при модуле до 10 мм и вертикальном перемещении фрезы — 360 мм). Наибольший диаметр червячной фрезы, устанавливаемой во фрезерном суппорте, 180 мм при длине 175 мм. Степень точности обработки соответствует 7-му классу по ГОСТ 1643—72.

В конструкции станка предусмотрены механизмы, обеспечивающие прогрессивные методы зубофрезерования: радиальное врезание инструмента в заготовку, диагональную подачу, встречное и попутное фрезерование, возможность применения фрез большого диаметра, длины и т. п. Повышенные частота вращения фрезы и подача, значительное увеличение мощности главного привода в сочетании с высокой жесткостью станка допускают работу на повышенных режимах резания и позволяют применять острозаточенные и твердосплавные червячные фрезы. Вертикальное расположение оси нарезаемого колеса при неподвижной суппортной стойке и подвижном столе обеспечивает необходимую жесткость и устойчивость в работе. Массивная задняя стойка, жестко соединенная со столом, обеспечивает надежную работу станка без дополнительного крепления к суппортной стойке верхней траверсой. Цикл работы станка автоматизирован. Все рабочие и вспомогательные движения: быстрый подвод заготовки к инструменту, зубонарезание, быстрый отвод колеса и инструмента в исходное положение и остановка станка — осуществляются автоматически. Уборка стружки осуществляется шнековым транспортером, расположенным внутри станины. Для зажима заготовки станок можно снабжать

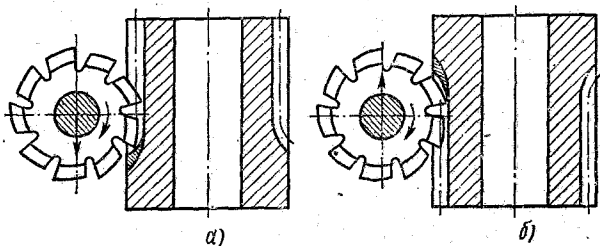


Рис. 33. Методы нарезания колес:  
а — встречный; б — попутный

гидромеханическим устройством, монтируемым в столе.

Рассмотрим основные узлы и органы управления вертикального зубофрезерного полуавтомата 5К32 (рис. 34). На горизонтальных направляющих станины 1 устанавливают салазки 23 стола 22. По этим направляющим салазки со столом перемещаются в радиальном направлении. К станине станка прикреплена передняя стойка 2. На вертикальных направляющих установлен суппорт 10 с фрезерной головкой 11, которые перемещаются в вертикальной плоскости с помощью хо-

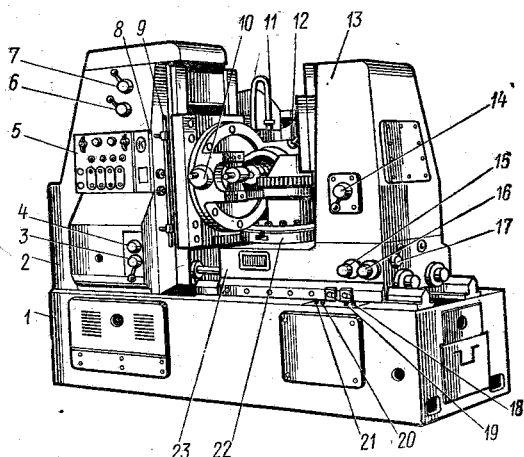


Рис. 34. Зубофрезерный станок мод. 5К32

дового винта, расположенного вертикально и включаемого рукояткой 3. Ручное перемещение суппорта осуществляют от рукоятки, надеваемой на квадрат 4. Наличие поворотного круга у суппорта дает возможность поворачивать оправку фрезы вместе с фрезерной головкой в вертикальной плоскости на заданный угол и закреплять ее в этом положении. Стол находится на кольцевых направляющих и центрируется коническим выступом. К столу прикреплено червячное колесо, приводимое во вращение червяком. От степени точности изготовления этой червячной пары зависит в основном степень точности нарезаемых на станке зубчатых колес. Сочетание высокооловянистой бронзы делительного (червячного) колеса со шлифовальным стальным азотированным червяком дает хорошие результаты по сохранению точности делительной пары.

Для регулирования зазора в делительной паре червяк изготавливают с переменной толщиной витка (двухшаговый). Это означает, что шаг по левому профилю червяка равен 19,132 мм, а шаг по правому профилю равен 18,566 мм. В радиальном направлении стол перемещают ходовым винтом, гайка которого прикреплена к салазкам станка. Для ручного перемещения стола на квадрат 15 надевают рукоятку, а на квадрат 16 — рукоятку для ручного перемещения упора включения радиальной подачи. По вертикальным направляющим задней стойки 13 перемещается кронштейн 12, поддерживающий верхний конец оправки, что предохраняет ее от деформации, вызываемой силами резания. Кронштейн перемещается гидравлически включением рукоятки 14. Рукоятками 6 и 7 управляют осевой подачей фрезы, а упоры 8 и 9 служат для выключения перемещения суппорта. Рукоятка 17 служит для фиксирования установки упоров. Упоры служат для аварийного быстрого подвода стола 18, выключения быстрого подвода стола 19, останова стола быстрого отвода 20 и аварийного 21. При сра-

бывании аварийного упора обеспечивается вся электросхема станка и возможны только ручные перемещения. На пульте управления 5 расположены кнопки включения и выключения гидронасоса, пуск и останов главного электродвигателя, быстрого подвода — отвода стола, суппорта, а также переключатели метода фрезерования (попутное или встречное), освещения, цикла.

**Настройка станка для нарезания цилиндрических прямозубых колес.** При нарезании цилиндрических прямозубых колес фрезе сообщают вращательное движение в направлении стрелки *A* (см. рис. 32). Если фреза левозаходная, то обрабатываемое колесо должно вращаться в направлении, указанном стрелкой *B*; если же фреза правозаходная, то в направлении, противоположном стрелке.

Для нарезания прямозубых цилиндрических колес в станке предусмотрены следующие кинематические цепи: 1) главного вращательного движения фрезы; 2) делительная, согласующая вращательные движения червячной фрезы и нарезаемого колеса; 3) вертикальной подачи червячной фрезы. На рис. 35 приведена кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 5К32.

**Цепь главного движения.** Червячная фреза получает вращательное движение от электродвигателя *M1* мощностью 7,5 кВт с частотой вращения 1460 об/мин по следующей кинематической цепи: электродвигатель *M1*, вал *I*, клиноременная передача  $\frac{116}{234}$ , вал *II*, сменные колеса гитары скоростей  $\frac{a'}{b'}$ , вал *III*, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал *IV*, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал *V*, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал *VI*, цилиндрическая косозубая передача  $\frac{17}{68}$ , вал *VII*, червячная фреза.

Расчетные перемещения запишем так:

1460 об/мин  $\rightarrow n_{\text{фр}}$  об, фрезы в минуту;

$$1460 \frac{116}{234} \frac{a'}{b'} 0,985 \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{17}{68} = n_{\text{фр}},$$

откуда формула настройки гитары скоростей будет

$$\frac{a'}{b'} = \frac{n_{\text{фр}}}{178,4},$$

где 0,985 — коэффициент, учитывающий скольжение ременной передачи.

Изменением зубчатых колес  $a'$  и  $b'$  можно получить девять различных частот вращения фрезы: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 и 315 об/мин. Скорость резания  $v$  выбирают по нормативам, наружный диаметр червячной фрезы известен. Скорость резания  $v$ , наружный диаметр фрезы и частота ее вращения связаны выражением

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000v}{\pi d}.$$

Зная  $v$  и  $d$ , находят частоту вращения фрезы и устанавливают на станке сменные колеса.



**Делительная цепь.** Основная цепь, связывающая вращательные движения фрезы и стола: червячная фреза, вал VII, цилиндрическая косозубая передача  $\frac{68}{17}$ , вал VI, колеса  $\frac{29}{29}$ , вал V, колеса  $\frac{29}{29}$ , вал IV, колеса  $\frac{27}{27}$ , вал VIII,  $i_{\text{диф}}$ , вал IX, колеса  $\frac{58}{58}$ , вал X, колеса  $\frac{e}{f}$ , сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал XI, колеса  $\frac{33}{33}$ , вал XII, колеса  $\frac{35}{35}$ , вал XIII, червячная передача  $\frac{1}{96}$ , стол.

Расчетные перемещения для цепи фреза—заготовка будут иметь вид

$$\frac{z}{k} \text{ об. фрезы} \rightarrow 1 \text{ об. стола};$$

$$\frac{z}{k} \frac{68}{17} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{27}{27} i_{\text{диф}} \frac{58}{58} \frac{e}{f} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} = 1.$$

При нарезании прямозубых колес дифференциал работает как обычная зубчатая передача и  $i_{\text{диф}} = 1$ .

При числе зубьев нарезаемого колеса  $z \leq 161 \frac{e}{f} = \frac{54}{54} = 1$ , а при  $z > 161 \frac{e}{f} = \frac{36}{72} = \frac{1}{2}$ .

Расчетные формулы гитары деления:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{24k}{z} \text{ при } \frac{e}{f} = \frac{54}{54}; \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{48k}{z} \text{ при } \frac{e}{f} = \frac{36}{72}.$$

**Дифференциал станка.** На рис. 36 приведен дифференциал станка мод. 5К32. Корпус дифференциала 7 смонтирован на шарикоподшипниках и вращается от червячной передачи 2—3, вокруг оси 0—0 и несет на себе вал-водило 5 с сателлитами 10. Вал 1 с коническим колесом 4 кинематически связаны с гитарой деления. Вал 9 выполнен целиком с колесом 6, на конце которого установлено коническое зубчатое колесо 8. Отметим, что у всех зубофрезерных станков с буквой К

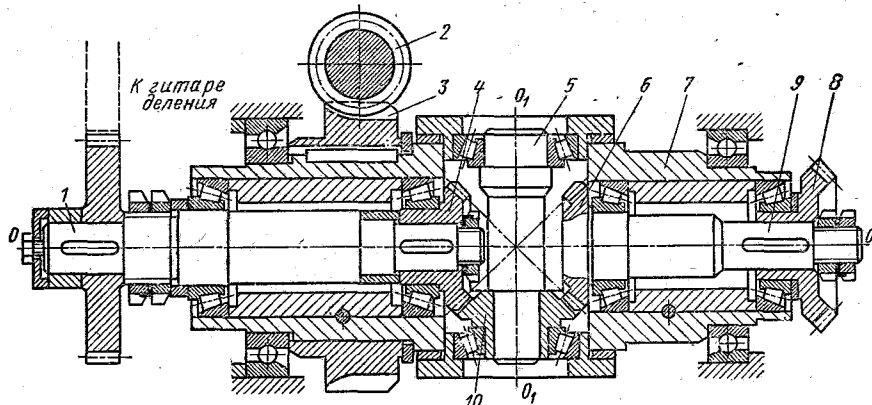


Рис. 36. Дифференциал зубофрезерного станка мод. 5К32

коническая передача 4—10—6 дифференциала работает как при нарезании косозубых, так и прямозубых колес.

**Цепь вертикальных подач.** Вертикальную подачу фреза получает по следующей цепи (см. рис. 35): стол, червячная передача  $\frac{96}{11}$ , вал *XIII*, колеса  $\frac{35}{35}$ , вал *XII*, колеса  $\frac{33}{33}$ , вал *XI*, червячная передача  $\frac{2}{26}$ , вал *XIV*, колеса  $\frac{44}{44}$ , вал *XV*, сменные колеса  $\frac{a_1}{b_1}$ , вал *XVI*, колеса  $\frac{39}{65}$ , вал *XVIII*, колеса  $\frac{50}{45}$ , вал *XIX*, колеса  $\frac{45}{45}$ , вал *XX*, червячная передача  $\frac{1}{24}$ , ходовой винт вертикальной подачи с шагом  $t_v = 10$  мм при включенной электромагнитной муфте ЭМ2 и кулачковой М. Так как величину вертикальной  $s_v$  исчисляют в миллиметрах на один оборот стола, то расчетные перемещения должны быть записаны следующим образом:

$$1 \text{ об.стола} \rightarrow s_v \text{ мм/об. стола.}$$

Уравнение перемещений для цепи вертикальной подачи запишется в виде

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = s_v,$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{39}{80} s_v.$$

При работе левой фрезой, когда стол вращается по часовой стрелке, сменное зубчатое колесо  $a_1$  устанавливают на вал *XIV*. Для получения попутной вертикальной подачи включают электромагнитную муфту ЭМ4 и вращение вала *XVIII* передается колесами  $\frac{39}{65}$ . При встречной подаче включают муфту ЭМ3 и зубчатые передачи  $\frac{48}{48}$  и  $\frac{36}{60}$  передают движение в цепь станка.

Возможность применения попутной вертикальной подачи обеспечивается цилиндром гидравлической догрузки суппорта, выбирающим зазор в винтовой паре вертикальной подачи.

Изменением сменных колес  $a_1$  и  $b_1$  можно получить семь различных вертикальных подач: 0,84; 1,02; 1,67; 2,05; 2,52; 4,10; 5.

**Настройка станка для нарезания цилиндрических косозубых колес.** Нарезание косозубых колес производят на том же зубофрезерном станке, на котором нарезают прямозубые колеса. На зубофрезерном станке мод. 5К32 бездифференциальная настройка недопустима по той причине, что в формулу подбора сменных колес гитары деления входит величина вертикальной подачи  $s_v$ . В цепь вертикальной подачи входят электромагнитные муфты, которые допускают проскальзывание. По этой же причине на станке мод. 5К32 нельзя применить дифференциальную настройку для нарезания зубчатых колес с простым числом зубьев (103, 114, 127 и т. д.).



Поэтому рассмотрим дифференциальную настройку с применением сложной кинематической цепи. Основную цепь или гитару деления настраиваем так же, как и при нарезании прямозубых колес. Для дополнительной цепи используем гитару дифференциала. Дополнительной же цепью фрезе за тот же оборот стола (заготовки) сообщают добавочное вращение, равное  $\pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}$ ; поэтому расчетные перемещения для дополнительной цепи должны быть записаны так:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T} \text{ об. фрезы.}$$

Дополнительная цепь (см. рис. 35), связывающая вращательные движения фрезы и заготовки: стол-заготовка, червячная пара  $\frac{96}{1}$ , вал XIII, колеса  $\frac{35}{35}$ , вал XII, колеса  $\frac{33}{33}$ , вал XI, червячная передача  $\frac{2}{26}$ , вал XIV, колеса  $\frac{44}{44}$ , вал XV, сменные колеса  $\frac{a_1}{b_1}$ , вал XVI, колеса  $\frac{39}{65}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{50}{45}$ , вал XIX, колеса  $\frac{45}{45}$ , вал XX, колеса  $\frac{33}{32}$ , вал XXII, сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$ , вал XXIII, колеса  $\frac{27}{27}$ , червячная передача  $\frac{1}{45}$ , дифференциал, вал VIII, колеса  $\frac{27}{27}$ , вал IV, колеса  $\frac{29}{29}$ , вал V,  $\frac{29}{29}$ , вал VI, колеса  $\frac{17}{68}$ , вал VII, червячная фреза.

Уравнение перемещений дополнительной цепи запишется так:

$$1 \frac{96}{1} \frac{35}{35} \frac{33}{33} \frac{2}{26} \frac{44}{44} \frac{a_1}{b_1} \frac{39}{65} \frac{50}{45} \frac{45}{45} \frac{33}{22} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{27}{27} \times \\ \times \frac{1}{45} i_{\text{диф}} \frac{27}{27} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{17}{68} = \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}.$$

Подставляя  $\frac{a_1}{b_1} = \frac{39}{80} s_B$  и  $i_{\text{диф}} = 2$ , получим

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{25z}{kT}.$$

Если вместо  $T$  подставить выражение  $\frac{\pi m z}{\sin \beta}$ , то получим

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{7,95775 \sin \beta}{mk}.$$

Пользуясь этой формулой, определяют передаточное отношение сменных колес гитары дифференциала.

**Настройка станка для нарезания червячных колес.** Для нарезания червячных зубчатых колес применяют два метода: радиальной или тангенциальной подачи (рис. 37). При фрезеровании зубьев на червячных колесах методом радиальной подачи (рис. 37, а) фреза и заготовка совершают такие же вращательные движения, какие они соверша-

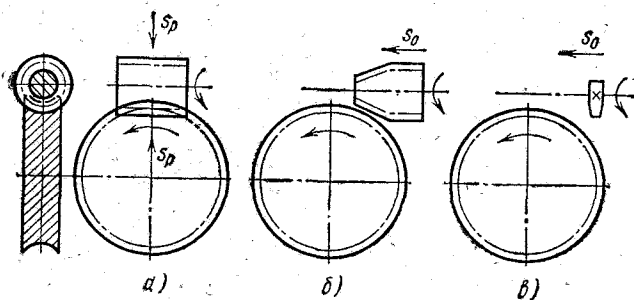


Рис. 37. Методы нарезания червячных зубчатых колес:  
 а — радиальной подачи; б — тангенциальной подачи; в — летучим резцом

ют при нарезании прямозубых цилиндрических колес; поэтому гитару деления настраивают по обычным формулам:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24k}{z} \text{ при } \frac{e}{f} = \frac{54}{54} \text{ или } \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{48k}{z} \text{ при } \frac{e}{f} = \frac{36}{72}.$$

Направление подачи в этом случае меняется.

На станке мод. 5К32 движение радиальной подачи совершает стол, несущий заготовку в направлении стрелки (рис. 37, а).

**Радиальная подача.** Цепь радиальной подачи включается электромагнитной муфтой ЭМ1 и состоит из следующих звеньев (см. рис. 35): стол, червячная пара  $\frac{96}{1}$ , вал XIII, колеса  $\frac{35}{35}$ , вал XII,  $\frac{33}{33}$ , вал XI, червячная передача  $\frac{2}{26}$ , вал XIV, колеса  $\frac{44}{44}$ , вал XV, сменные колеса  $\frac{a_1}{b_1}$ , вал XVI, колеса  $\frac{39}{65}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{45}{50}$ , вал XXI, червячная передача  $\frac{1}{36}$ , ходовой винт радиальной подачи с шагом  $t_p = 10$  мм.

Радиальную подачу  $s_p$  выражают в миллиметрах на оборот стола, поэтому расчетные перемещения и их уравнение должны быть записаны в таком виде:

$$1 \text{ об. стола} \rightarrow s_p \text{ мм/об.стола;}$$

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{44}{44} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{39}{65} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{34}{61} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 = s_p,$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} = 1,62 s_p.$$

Изменением сменных колес  $a_1$  и  $b_1$  можно получить семь различных радиальных подач: 0,25; 0,31; 0,5; 0,62; 0,76; 1,24; 1,5.

Для повышения качества зацепления червячной пары, колесо которой нарезается червячной фрезой, последнюю выбирают так, чтобы ее форма и размеры соответствовали червяку, парному червячному колесу. Если форма и размеры фрезы (кроме наружного диаметра) не бу-

дуг соответствовать червяку, парному нарезаемому колесу, то качество зацепления изготавливаемой червячной пары резко ухудшается.

Обычные червячные затылованные фрезы, предназначенные для нарезания червячных колес методом радиальной подачи, в процессе работы изнашиваются по задней поверхности. После переточки их по передней поверхности размеры диаметров фрез уменьшаются, из-за чего приходится устанавливать на станке расстояние между осями фрезы и нарезаемого колеса другое, чем у червяка и колеса при их монтаже, вследствие чего качество зацепления червячной пары ухудшается.

Основное преимущество радиального метода нарезания червячных зубчатых колес состоит в том, что путь перемещения фрезы в горизонтальном направлении небольшой; в среднем его можно считать равным  $3m$ .

На рис. 37, б приведен тангенциальный метод нарезания червячных зубчатых колес, при котором заготовка вращается, а коническая червячная фреза вращается и одновременно перемещается с подачей  $s_0$  вдоль своей оси, вследствие чего столу необходимо сообщить добавочное движение. Путь перемещения червячной фрезы больше, чем при радиальном методе, но качество поверхности профиля зубьев колеса лучше. На рис. 37, в приведен также тангенциальный метод нарезания червячных колес, но одиночным резцом. Рассмотрим тангенциальный метод несколько подробнее.

При нарезании колес методом тангенциальной (осевой) подачи применяют червячную фрезу с так называемым заборным конусом (рис. 38, а), у которой режущие зубья расположены на конической ее части, а калибрующие — на цилиндрической. В процессе работы такой фрезе сообщают главное вращательное движение в направлении стрелки А и осевое движение подачи  $s_0$  в направлении стрелки В (рис. 38, б); за время, когда фреза переместится из положения 1 в положение 2, завершится процесс нарезания зубьев на червячном колесе. Нарезаемое колесо вращается в направлении стрелки В.

Зубья фрезы, расположенные на конической части ее, срезают с заготовки основную часть металла впадин колеса, оставляя небольшой припуск. Калибрующие зубья, срезая оставшийся небольшой слой металла, изнашиваются в меньшей степени, чем зубья обычной червячной фрезы. Этим объясняется более длительный срок службы червячных фрез с коническим заходом.

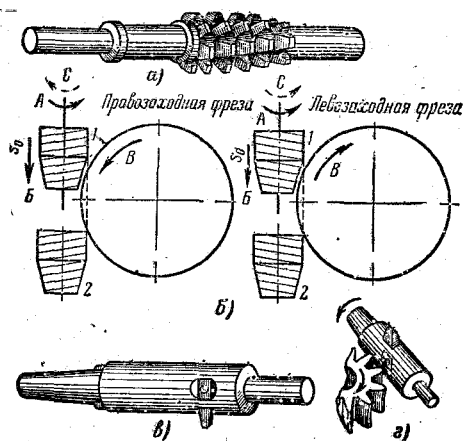


Рис. 38. Схема нарезания червячных колес тангенциальным методом:

а — с применением конусной червячной фрезы; б — с сообщением направления вращения заготовке и фрезе; в — с применением оправки с резцом; г — с применением летучего резца

Наличие осевой подачи фрезы  $s_o$  (рис. 38, б) обуславливает необходимость изменения соотношения между вращением фрезы и заготовки. Если бы фреза и заготовка вращались так же, как они вращаются при нарезании колес методом радиальной подачи, зубья червячного колеса были бы срезаны. Чтобы избежать этого, частоту вращения фрезы относительно стола заготовки увеличивают или уменьшают в зависимости от того, будет ли фреза правозаходная или левозаходная. Необходимость в таком изменении частоты вращения фрезы можно понять при следующем рассуждении.

По существу, червячная фреза — это винт, а червячное колесо — его полугайка. Если винт ввинчен в полугайку, закрепленную неподвижно, то перемещать винт в осевом направлении можно, лишь вращая его. Не вращая винта, переместить его в осевом перемещении невозможно, не срезав при этом витков гайки. Если величина осевого перемещения  $s_o$ , а шаг винта  $t$ , то, чтобы переместить винт на эту величину, ему следует сообщить вращение, равное  $\frac{s_o}{t}$ . При нарезании червячных колес методом осевой подачи фреза одновременно совершает поступательное перемещение вдоль своей оси и вращается, и эту особенность необходимо учитывать при настройке станка.

Так как шаг витков фрезы равен  $\pi mk$ , то, чтобы фреза перемещалась, ввинчивалась в зубья колеса, а не срезала бы их, частоту вращения ее за оборот заготовки необходимо уменьшить или увеличить на величину  $\frac{s_o}{\pi mk}$ , поэтому за один оборот заготовки фреза совершит  $\frac{z}{k} \pm \frac{s_o}{\pi mk}$  оборотов.

Расчетные перемещения в этом случае должны быть записаны так:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \left( \frac{z}{k} \pm \frac{s_o}{\pi mk} \right) \text{ об. фрезы.}$$

Пользуясь рис. 38, б, легко установить, что знак плюс относится к случаю, когда фреза левозаходная, а знак минус, когда она правозаходная. Направления дополнительных вращений фрезы показаны стрелками С.

Согласовать вращательное движение заготовки и фрезы так, как это обусловлено записанными перемещениями, можно двумя видами настроек: бездифференциальной и дифференциальной.

Найдем, прежде всего, значение осевой подачи фрезы. Цепь осевой подачи (см. рис. 35): стол-заготовка, червячная пара  $\frac{96}{1}$ , вал XIII, колеса  $\frac{35}{33}$ , вал XII, колеса  $\frac{33}{33}$ , вал XI, червячная передача  $\frac{2}{26}$ , вал IV, колеса  $\frac{44}{44}$ , вал XV, сменные колеса  $\frac{a_1}{b_1}$ , вал XVI, колеса  $\frac{39}{65}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{50}{45}$ , вал XIX, колеса  $\frac{45}{45}$ , вал XX, колеса  $\frac{33}{22}$ , коробка на три скорости с передаточными отношениями  $i_1 = \frac{36}{36}$ ;  $i_2 = \frac{24}{48}$ ;  $i_3 = \frac{46}{26}$ , передающими движение с вала XXIV на вал XXV, далее через колеса

$\frac{32}{40} \frac{40}{70} \frac{70}{40}$ , вал XXVI, червячная передача  $\frac{2}{36}$ , колеса  $\frac{68}{40}$ , вал XXVII, колеса  $\frac{29}{29} \frac{29}{29}$ , вал XXVIII, червячная передача  $\frac{5}{48}$ , резьбовая втулка с шагом 12 мм, червячная фреза. Осевую подачу вычисляют в миллиметрах на оборот стола.

Уравнение перемещений для осевой подачи фрезы будет иметь следующий вид:

$$1 \frac{96}{1} \frac{35}{35} \frac{33}{33} \frac{2}{26} \frac{44}{44} \frac{a_1}{b_1} \frac{39}{65} \frac{50}{45} \frac{45}{45} \frac{33}{22} i \frac{32}{40} \frac{40}{70} \frac{70}{40} \times \\ \times \frac{2}{36} \frac{68}{40} \frac{29}{20} \frac{29}{29} \frac{5}{48} 12 = s_p,$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} i = \frac{13}{17} \frac{15}{8} s_0 \text{ или } \frac{a_1}{b_1} i = 1,43 s_0.$$

При дифференциальной настройке станка на нарезание червячных колес методом тангенциальной подачи настраивают основную и дифференциальную цепи. По основной цепи фрезе относительно одного оборота стола-заготовки сообщают  $\frac{z}{k}$  оборотов. Эту цепь настраивают так, как бы настраивали ее при нарезании червячных колес методом радиальной подачи или при нарезании прямозубых колес, а именно:

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z} \text{ или } \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{48k}{z}.$$

По дифференциальной цепи одновременно фрезе сообщают дополнительное вращение, равное  $\pm \frac{s_0}{\pi m k}$ . В результате этого частота вращения фрезы относительно одного оборота стола уменьшится или увеличится. Расчетные перемещения для дополнительной цепи в этом случае запишутся так:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \pm \frac{s_0}{\pi m k} \text{ об. фрезы.}$$

Уравнение перемещений дифференциальной цепи, связывающей вращательное движение фрезы и стола, примет следующий вид:

$$1 \frac{96}{1} \frac{35}{35} \frac{33}{33} \frac{2}{26} \frac{44}{44} \frac{a_1}{b_1} \frac{39}{65} \frac{50}{45} \frac{45}{45} \frac{33}{22} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{27}{27} \frac{1}{45} \times \\ \times i_{\text{диф}} \frac{27}{27} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{17}{68} = \frac{s_0}{\pi m k}.$$

Подставляя  $\frac{a_1}{b_1} = \frac{13 \cdot 15}{17 \cdot 8} s_0$ , приняв при этом  $i = 1$  и  $i_{\text{диф}} = \frac{2}{1}$ , получим передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары дифференциала:

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{2,705}{mk}.$$

Полученная формула для подбора сменных колес гитары дифференциала была бы справедлива, если бы колеса  $z = 17$  и  $z = 68$  были прямыми, но эти колеса имеют косые зубья; поэтому при осевом перемещении червячная фреза получает дополнительный поворот. При осевом перемещении фрезы от ходового винта с шагом 12 мм на величину осевой подачи  $s_0$  фреза дополнительно повернется на величину  $\frac{s_0}{T}$ , а нарезаемое колесо на величину  $\frac{s_0}{T} \frac{k}{z}$ . Шаг винтовой линии косозубого колеса, посаженного на шпинделе,  $T = 2765,3$  мм, поэтому величина дополнительного поворота фрезы  $\frac{s_0}{2765,3} = 0,00036 s_0$ , а дополнительного поворота нарезаемого колеса равна  $0,00036 \frac{k}{z} s_0$ .

Следовательно, расчетные перемещения запишутся так:

перемещение фрезы  $\rightarrow 0,00036 \frac{k}{z} s_0$  об. стола

$$0,00036 \frac{k}{z} s_0 = \frac{T}{12} \frac{48}{5} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{40}{68} \frac{36}{2} \frac{40}{70} \frac{70}{40} \frac{40}{32} \frac{1}{i_0} \frac{22}{33} \times \\ \times \frac{33}{22} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{27}{27} \frac{1}{45} \frac{2}{1} \frac{58}{58} \frac{e}{f} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96}.$$

где  $i_0$  — передаточное отношение трехскоростной коробки диагональной подачи.

После подстановки вместо выражения  $\frac{a c}{b d}$  произведения  $\frac{24k}{z}$  получим второе слагаемое формулы настройки гитары дифференциала (учитывая винтовые колеса  $\frac{17}{68}$ )

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = 0,00307 i_0.$$

Приняв  $i_0 = 1$ , найдем

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{2,705}{mk} \pm 0,00307.$$

Формула подбора сменных колес гитары дифференциала при нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи состоит из двух слагаемых; по первому слагаемому рассчитываем дополнительный поворот нарезаемого колеса вследствие перемещения фрезы в осевом направлении, а по второму слагаемому — дополнительный поворот нарезаемого колеса вследствие наличия косозубых колес, вращающих фрезу; величина  $+0,00307$  учитывает влияние винтовой пары зубчатых колес суппорта для правоходовых фрез; величина  $-0,00307$  — для левоходовых фрез.

При бездифференциальной настройке фрезе сообщают необходимую частоту вращения относительно стола одной основной цепью. Расчетные перемещения должны быть записаны так:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow \frac{z}{k} \pm \frac{s_0}{\pi m k} \text{ об. фрезы.}$$

Так как в цепь подачи для обеспечения  $s_0$  входят электромагнитные муфты, то в них происходит проскальзывание, поэтому в разбираемом станке бездифференциальная настройка невозможна.

**Диагональное зубофрезерование.** Метод зубофрезерования характеризуется тем, что из нескольких десятков зубьев червячной фрезы изнашиваются только три-пять. При затуплении зубьев на определенном участке фрезу перемещают вдоль оси, что увеличивает ее стойкость, а следовательно, и срок службы. Величину осевого перемещения червячной фрезы определяют опытно-расчетным путем. Этот метод полезно применять для широкого диапазона зубьев и модулей.

Конструкций и механизмов для периодического осевого перемещения фрез существует много. Почти все зубофрезерные станки снабжаются ими. В качестве примера приведем механизм периодического осевого перемещения червячной фрезы станка мод. 5Е32 (рис. 39).

Для осевого перемещения шпинделя с фрезерной оправкой и червячной фрезой на суппорте станка установлен электродвигатель ( $N = 0,18$  кВт;  $n = 1400$  об/мин). Цепной передачей  $\frac{9}{16}$  через звездочки вращение передают на червячную передачу  $\frac{1}{120}$  и ходовой винт с шагом  $t = 5$  мм. Величину осевого перемещения червячной фрезы за одну минуту найдем по формуле

$$s_m = 1400 \frac{9}{16} \frac{1}{120} 5 = 33 \text{ мм/мин.}$$

Эффективно червячная фреза работает также при непрерывном осевом перемещении во время нарезания зубчатого колеса методом диагонального зубофрезерования. При диагональном зубофрезеровании червячной фрезе сообщают одновременно две подачи: параллельно оси нарезаемого колеса и вдоль ее оси, в результате чего фреза будет перемещаться по диагонали и этим достигается равномерный износ зубьев фрезы и повышается ее стойкость.

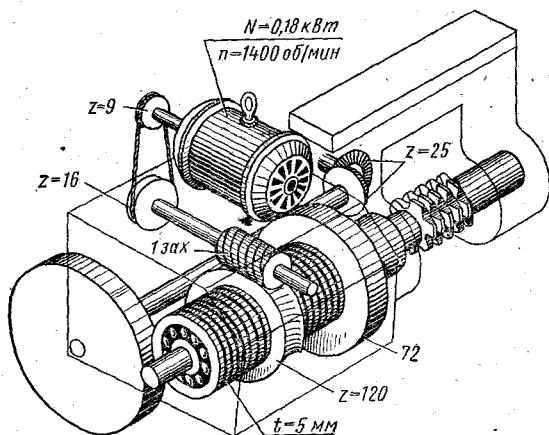


Рис. 39. Механизм периодического осевого перемещения червячной фрезы зубофрезерного станка мод. 5Е32

Схема диагонального зубонарезания показана на рис. 40. Найдем связь между вертикальным и осевым перемещением фрезы. За одно и то же время, когда фреза пройдет путь  $l_p$  вдоль своей оси, а по вертикали путь  $B$ , стол станка сделает число оборотов, равное

$$\frac{l_p}{s_o} = \frac{B}{s_B},$$

откуда

$$s_o = s_B \frac{l_p}{B},$$

где  $s_o$  — осевая подача за оборот стола, мм;  $s_B$  — вертикальная подача за оборот стола, мм;  $s_d$  — диагональная подача за оборот стола, мм;  $l_p$  — расчетное перемещение фрезы, равное  $l_p = L - 6,6m$ , где  $L$  — длина нарезаемой части фрезы, мм;  $m$  — модуль нарезаемого зубчатого колеса, мм;  $B$  — ширина нарезаемого зубчатого (пакета) колеса, мм.

При фрезеровании цилиндрических колес только с вертикальной подачей относительное положение зубьев червячной фрезы и нарезаемого зубчатого колеса повторяются при каждом обороте фрезы, поэтому на боковой стороне нарезаемого зуба образуется огранка (рис. 41, а), которая зависит от числа зубьев нарезаемого колеса и числа стружечных канавок фрезы. Если той же червячной фрезе наряду с вертикальной подачей сообщить осевую подачу, то при каждом новом обороте фрезы зона контакта зубьев с нарезаемым колесом будет изменяться и следы обработки будут расположены по диагонали (рис. 41, б), а это способствует более быстрой приработке сопряженных колес и плавной их работе по сравнению с колесами, нарезанными только при вертикальной подаче.

Диагональное зубофрезерование применяют для нарезания не только цилиндрических зубчатых колес, но и шлицевых валиков, зубьев звездочек и т. п. Схема нарезания шлицевого валика 1 с конусными шлицами методом диагонального зубофрезерования показана на рис. 42, а. Шлицевая червячная фреза 2 для нарезания шлицев валика показана в исходном положении, а штриховой линией — в конечном

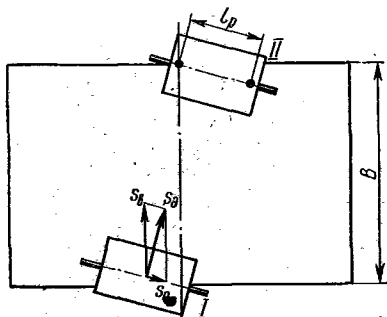


Рис. 40. Схема диагонального зубонарезания

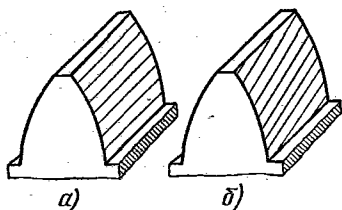


Рис. 41. Огранка зубьев при зубонарезании:  
а — обычном; б — диагональном



положении. Червячная фреза перемещается в двух направлениях ( $s_0$  и  $s_{\beta}$ ).

Методом диагонального зубофрезерования можно нарезать бочкообразные зубья (рис. 42, б). Колеса с бочкообразными зубьями по сравнению с обычными колесами допускают больший перекося осей и при работе создают меньше шума. Для изготовления цилиндрических зубчатых колес с бочкообразными зубьями зубофрезерные станки снабжают приспособлениями для обеспечения необходимых движений. Вертикальное перемещение суппорта, несущего червячную фрезу, согласуют с горизонтальным перемещением стола кинематической цепью. Этой цепью приводят во вращение кулачок, перемещающий стол в горизонтальном направлении. За время перемещения фрезы из верхнего положения до середины заготовки стол движется от фрезы или слева направо. От середины заготовки и до выхода фрезы из нее стол движется на фрезу или справа налево. Имеются и другие способы задания движения стола или фрезы.

При диагональном методе нарезание бочкообразных зубьев производят специальной фрезой, имеющей неодинаковую толщину зубьев. Обработка бочкообразного колеса начинается зубьями червячной фрезы, имеющими большую толщину. По мере продвижения фрезы вдоль оси колеса, толщина зубьев нарезаемого колеса увеличивается в результате перемещения фрезы вдоль своей оси. Фреза, достигнув середины колеса, нарежет зубья наибольшей толщины. При дальнейшем перемещении фрезы от среднего положения толщина зубьев нарезаемого колеса снова уменьшается до тех пор, пока червячная фреза не нарежет зубчатого колеса.

Применение диагонального метода зубофрезерования бочкообразных зубьев можно рекомендовать в условиях массового производства зубчатых колес. Стандартную червячную фрезу при определенных условиях можно использовать для нарезания бочкообразных зубьев. Для диагонального зубофрезерования станки оснащают универсальными суппортами, которые могут перемещать непрерывно фрезу вдоль ее оси (например, станки 5К32, 5К324, Р400, Р500 и др.).

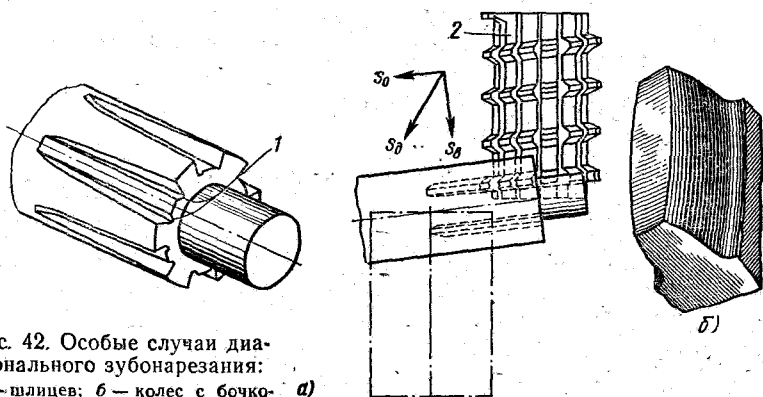


Рис. 42. Особые случаи диагонального зубонарезания:

а — шлицев; б — колес с бочкообразными зубьями

**Настройка станка мод. 5К32 на диагональное нарезание прямозубых цилиндрических колес.** При настройке станка на диагональный метод нарезания прямозубых колес, кроме гитар (деления, вертикальной подачи и скоростей), необходимо дополнительно настроить гитары осевой подачи и дифференциала.

Приведем дополнительные расчеты, связанные с определением расчетных перемещений при диагональном зубофрезеровании. Вертикальное перемещение фрезерного суппорта связано с осевым перемещением червячной фрезы следующей кинематической цепью (см. рис. 35): винт вертикальной подачи  $XXI$ , червячная передача  $\frac{24}{1}$ , вал  $XX$ , конические колеса  $\frac{33}{22}$ , вал  $XXIV$ , далее через коробку на три скорости ( $\frac{24}{48} = \frac{1}{2}$ ,  $\frac{36}{36} = 1$  и  $\frac{46}{26} = \frac{23}{13}$ ), вал  $XXV$ , через зубчатые колеса  $\frac{32}{40}$   $\frac{40}{70}$   $\frac{70}{40}$ , вал  $XXVI$ , червячную передачу  $\frac{2}{36}$ , цилиндрические колеса  $\frac{68}{40}$ , конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал  $XXVII$ , конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал  $XXVIII$ , червячную передачу  $\frac{5}{48}$ . В ступице червячного колеса нарезана резьба с шагом 12 мм.

Сущность настройки гитары осевой подачи фрезы состоит в том, что за время, когда фрезерный суппорт пройдет по вертикали путь  $s_B$ , фреза вдоль своей оси должна переместиться на величину  $s_0$ .

Расчетные перемещения запишутся так:

$s_B$  мм/об. стола  $\rightarrow s_0$  мм/об. стола;

$$\frac{s_B}{10} \frac{24}{1} \frac{33}{22} i_0 \frac{32}{40} \frac{40}{70} \frac{70}{40} \frac{2}{30} \frac{68}{40} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{5}{48} 12 = s_0,$$

откуда

$$\frac{s_0}{s_B} = \frac{17}{50} i_0,$$

где  $i_0$  — передаточное отношение трехскоростной коробки.

$$\begin{aligned} \text{При } i_0 = \frac{24}{48} \quad \frac{s_0}{s_B} &= 0,17; \text{ при } i_0 = \frac{36}{36} \quad \frac{s_0}{s_B} = 0,34; \text{ при } i_0 = \\ &= \frac{46}{26} \quad \frac{s_0}{s_B} = 0,60. \end{aligned}$$

Принимая  $s_0 = s_B \frac{l_p}{B}$ , находим соответственно  $\frac{l_p}{B} = 0,17$ ;  $\frac{l_p}{B} = 0,34$  и  $\frac{l_p}{B} = 0,60$ .

Таким образом, подачи  $s_0$  и  $s_B$  можно не учитывать при выборе величины  $i_0$ , но необходимо знать перемещение фрезы  $l_p$  и ширину нарезаемого (пакета) колеса  $B$ .

Второй дополнительной гитарой при настройке на диагональное зубонарезание является гитара дифференциала. Условие подбора сменных колес этой гитары можно сформулировать так: когда червяч-

ная фреза переместится на величину осевого шага, заготовка должна дополнительно повернуться на один зуб при однозаходной фрезе.

Рассмотрим кинематическую цепь, связывающую перемещение ходового винта фрезерного суппорта с дополнительным вращением стола станка (см. рис. 35): ходовой винт фрезерного суппорта с шагом 12 мм, червячная передача  $\frac{48}{5}$ , вал XXVIII, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал XXVII, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , цилиндрические колеса  $\frac{40}{68}$ , червячная передача  $\frac{36}{2}$ , вал XXVI, колеса  $\frac{40}{70} \frac{70}{40} \frac{40}{32}$ , вал XXV, передаточное число трехскоростной коробки  $i_0$ , вал XXIV, конические колеса  $\frac{22}{33} \frac{33}{22}$ , вал XXIII, сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$ , вал XXIII, конические колеса  $\frac{27}{27}$ , червячная передача  $\frac{1}{45}$ , дифференциал, вал IX, колеса  $\frac{58}{58}$ , колеса  $\frac{e}{f}$ , вал X, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{o}{d}$ , вал XI, колеса  $\frac{33}{33}$ , вал XII, колеса  $\frac{35}{35}$ , вал XIII, червячная передача  $\frac{1}{96}$ , стол-заготовка.

Расчетные перемещения запишутся так:

$$H \text{ мм} \rightarrow \frac{k}{z} \text{ об. стола};$$

$$\left( \frac{H}{12} \frac{48}{5} \frac{29}{29} \frac{29}{29} \frac{40}{68} \frac{36}{2} \frac{40}{70} \frac{40}{40} \frac{40}{32} \frac{1}{i_0} \frac{22}{33} \frac{33}{22} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{27}{27} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{1}{45} \frac{2}{1} \frac{58}{58} \frac{e}{f} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} = \frac{k}{z} \right)$$

где  $H = \frac{\pi m_n k}{\cos \lambda}$  — осевой шаг фрезы;  $m_n$  — нормальный модуль, мм;  $\lambda$  — угол подъема витка фрезы.

Подставляя значение передаточного отношения сменных колес гитары деления

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

и решая уравнение, получим

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{17}{2H} i_0.$$

Учитывая, что при осевом перемещении фреза получает дополнительное вращение от винтовой пары зубчатых колес  $\frac{17}{68}$  суппорта, окончательно следует написать

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{17 i_0}{2H} \pm 0,00307 i_0 \text{ или } \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{2,70562 \cos \lambda}{m_n k} \pm 0,00307 i_0.$$

Второе слагаемое добавлено по аналогии с нарезанием червячных колес методом тангенциальной подачи.

Гидравлическая схема станка мод. 5Е32. Гидравлический привод станка предназначен для гидроподпора фрезерного суппорта (догрузки), необходимый для выбора зазора в ходовом винте вертикальной подачи при работе с попутной подачей, перемещения салазок с кронштейном задней стойки, работы транспортера стружки и смазки станка (рис. 43).

Электродвигатель 1 ( $N = 1,1$  кВт;  $n = 930$  об/мин) приводит во вращение лопастной насос 2 с расходом масла  $Q = 12$  л/мин (Г12-12А). Масло засасывается из резервуара 6 через фильтр 3 (Х41-23) и направляется по маслопроводу через пластинчатый фильтр 7 (Г41-11) в распределительную коробку 8. Давление масла контролируют манометром 4; оно должно быть не более  $20$  кгс/см<sup>2</sup>, чего достигают регулированием клапана 5 (Г54-12).

Обязательным условием при зубофрезеровании по подаче является устранение зазоров в гайке вертикального винта. Масло под давлением из распределительной коробки 8 направляется через полый шток в рабочую полость цилиндра 10, отжимает цилиндр вверх и тем самым нагружает гайку винта вертикальной подачи; одновременно масло направляется в цилиндр 11 для смазки суппорта. Для подъема и опускания салазок кронштейна на задней стойке масло по одному из трубопроводов 15 поступает в распределительную коробку 14, затем в цилиндр 12 перемещения салазок. Краном 13 устанавливают направление движения салазок: вверх, вниз или останов. По другому трубо-

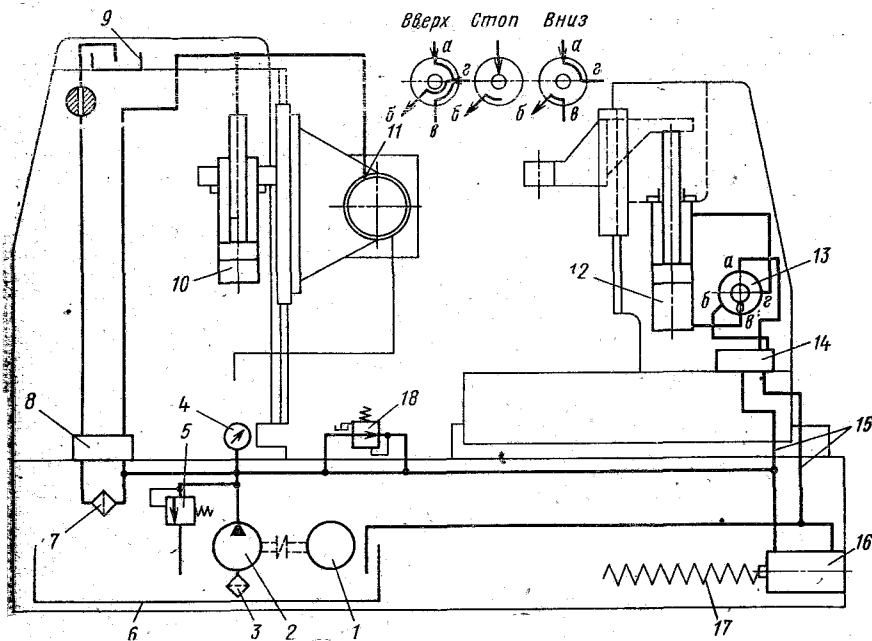


Рис. 43. Гидравлическая схема зубофрезерного станка мод. 5Е32;

а — б — потоки масла

проводу 15 масло сливается в резервуар 6. Смазка станка осуществляется самотеком из ванны 9. Шнек 17-транспорта стружки приводится в движение при периодическом вращении гидромотора 16 золотникового типа. Поступательное движение поршня преобразуется храповым механизмом в периодическое вращательное движение шнека. В гидросистеме станка имеется реле давления 18, отключающее станок при внезапном снижении давления масла в гидравлической системе станка.

Для управления станком необходимо знать систему и порядок смазки станка, следить за исправным состоянием ее и точно выполнять требования инструкции по смазке станка.

Ускоренные перемещения. Для ускоренных перемещений в станке мод. 5К32 (см. рис. 35) предусмотрен электродвигатель М2 ( $N = 3$  кВт;  $n = 1430$  об/мин). Электромагнитные муфты ЭМ3 и ЭМ4 отключаются.

Цепь ускоренной вертикальной подачи: электродвигатель М2, цепная передача  $\frac{25}{25}$ , вал XVII, колеса  $\frac{36}{60}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{50}{45}$ , вал XX, червячная передача  $\frac{1}{24}$ , винт вертикальной подачи с шагом  $t = 10$  мм.

Так как величину ускоренной подачи  $s_{в.у}$  вычисляют в миллиметрах в минуту, то расчетные перемещения должны быть записаны следующим образом:

$$1430 \text{ об. двигателя в минуту} \rightarrow s_{в.у} \text{ мм/мин.}$$

Уравнение перемещений для цепи ускоренной вертикальной подачи запишется в виде

$$s_{в.у} = 1430 \frac{25}{25} \frac{36}{60} \frac{50}{45} \frac{45}{45} \frac{1}{24} 10,$$

откуда  $s_{в.у} = 500$  мм/мин.

Цепь ускоренной радиальной подачи: электродвигатель М2, цепная передача  $\frac{25}{25}$ , вал XVII, колеса  $\frac{36}{60}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{45}{50}$ , вал XXI, колеса  $\frac{34}{61}$ , червячная передача  $\frac{1}{36}$ , винт радиальной подачи стола с шагом  $t = 10$  мм.

Уравнение перемещений для цепи ускоренной радиальной подачи запишется в виде

$$s_{р.у} = 1430 \frac{25}{25} \frac{36}{60} \frac{45}{50} \frac{34}{61} \frac{1}{36} 10,$$

откуда  $s_{р.у} = 120$  мм/мин.

Цепь ускоренной осевой подачи  $s_{о.у}$  фрезы: электродвигатель М2, цепная передача  $\frac{25}{25}$ , вал XVII, колеса  $\frac{36}{60}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{50}{45}$ , вал XIX, колеса  $\frac{45}{45} \frac{33}{22}$ , вал XXIV, коробка на три скорости с передаточным отношением  $i$ , вал XXV, колеса  $\frac{32}{40} \frac{40}{70} \frac{70}{40}$ , вал XXVI, червячная пе-

редача  $\frac{2}{36}$ , колеса  $\frac{68}{40}$ , вал XXVII, колеса  $\frac{29}{29}$ , вал XXVIII, червячная передача  $\frac{5}{48}$ , резьбовая втулка с шагом  $t = 12$  мм.

Уравнение перемещений для цепи ускоренного перемещения фрезы

$$s_{0,y} = 1430 \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{36}{60} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{33}{22} \cdot t \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{40}{70} \cdot \frac{70}{70} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{68}{40} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12,$$

откуда при  $t_1 = \frac{24}{48}$ ;  $t_2 = \frac{36}{36}$  и  $t_3 = \frac{46}{26}$   $s_{0,y_1} = 68$  мм/мин;  $s_{0,y_2} = 135$  мм/мин;  $s_{0,y_3} = 240$  мм/мин.

#### 4. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ ТЯЖЕЛОГО ТИПА

Тяжелые зубофрезерные станки изготовляют универсальными. Они предназначены для нарезания зубчатых колес с диаметрами от 2000 до 12500 мм как методом огибания червячной фрезой, так и методом копирования дисковой или пальцевой фрезой. На этих станках могут быть нарезаны: 1) прямозубые и косозубые колеса наружного и внутреннего зацепления; 2) червячные колеса радиальным и тангенциальным методом червячной фрезой, резцом-летучкой; 3) шевронные зубчатые колеса с канавкой для выхода червячной фрезы; 4) шевронные зубчатые колеса без канавки для входа пальцевой модульной фрезы.

Кроме того, могут быть установлены специальные устройства, дающие возможность фрезеровать червячной фрезой прямозубые колеса с малым углом конуса.

Производство тяжелых станков очень трудоемко, их изготовляют мелкими сериями, поэтому себестоимость их высокая, а срок изготовления большой. На заводах тяжелого машиностроения эти станки встречаются редко.

В табл. 7 приведены технические характеристики универсальных зубофрезерных станков мод. 5345, 5346, 5348.

Из табл. 7 видно, что указанные станки унифицированы, это дает возможность создавать отдельные механизмы, которые изготовляют, собирают, обкатывают отдельно, и испытанными подают на сборку.

Применение принципа агрегатирования и унификации ряда узлов станка позволяет резко выраженное единичное производство тяжелых станков в некоторой степени свести к серийному. Столы, стойки, главные суппорты и другие узлы станков 5346, 5348 унифицированы со станком мод. 5345.

Привод постоянного тока дает возможность менять скорость бесступенчато, вследствие чего можно подобрать оптимальные режимы резания и тем самым уменьшить машинное время зубонарезания. Зубофрезерные станки тяжелого типа оснащают специальными протяжными суппортами, головками для нарезания венцов внутрен-

Таблица 7

## Технические характеристики зубофрезерных станков

Параметр	Модель		
	5345	5346	5348
Наибольший диаметр нарезаемых колес, мм	5000	8000 5000	12 500
пальцевыми и дисковыми фрезами червячными фрезами			
Наибольший модуль колес, нарезаемых фрезой, мм			
червячной		40	
модульной дисковой		50	
Наибольшая длина фрезерования колес, мм		2000	
Диаметр стола, мм		4000	
Частота вращения фрезы, об/мин		10—60	
Главный электродвигатель постоянного тока, кВт		42	
Диаметр фрезы, мм		400	
Длина фрезы, мм		500	
Диаметр фрезерных оправок, мм		80	

него зацепления для нарезания шевронных зубчатых колес модульной пальцевой фрезой и рядом других.

Для зубофрезерных станков исключительно важное значение имеет сохранение точности делительной пары, которая может быть достигнута для станков особо высокой точности применением двух венцов в приводе стола. Одна червячная пара, крупномодульная, используется при работе на черновых режимах и при ускоренном установочном вращении стола; вторая — выполняется мелко модульной с большим числом зубьев на червячном венце и используется при чистовой обработке. Обе передачи заблокированы, т. е. не могут работать одновременно.

Гидравлическая система зубофрезерных станков предназначена для подвода, отвода и зажима пиноли пальцевой фрезы; зажима стойки на станине с помощью гидрозажимов; гидроразгрузки горизонтальных направляющих стойки и станины; смазки механизмов стойки и салазок суппорта.

Применение гидростатической системы смазки дает возможность осуществить полное жидкостное трение для направляющих планшайбы тяжелых зубофрезерных станков и тем самым исключить прерывистое движение планшайбы; уменьшить влияние геометрических погрешностей направляющих путем создания слоя смазки значительной толщины; длительное время сохранить точность вращения планшайбы, в результате отсутствия непосредственного контакта, а значит, и износа поверхностей направляющих; резко уменьшить трение в направляющих.

Давление масла регулируют уравнивающим золотником со специального пульта, установленного рядом со станком.

## 5. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК МОД. 5345

Этот станок является представителем гаммы тяжелых зубофрезерных станков. На рис. 44 показан общий вид станка мод. 5345. Техническая характеристика станка приведена в табл. 7. В нормальном исполнении станок поставляют только с главным суппортом, позволяющим фрезеровать прямозубые и косозубые колеса наружного зацепления червячной и дисковыми фрезами, а также червячные колеса методом радиальной подачи.

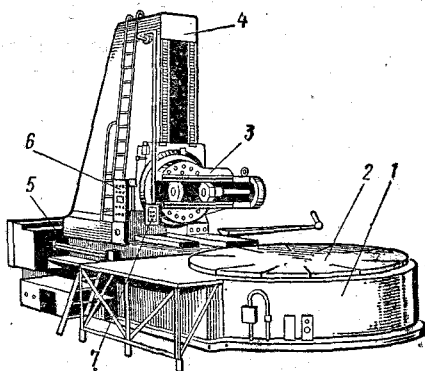


Рис. 44. Зубофрезерный станок мод. 5345:

1 — станина; 2 — стол; 3 — главный суппорт; 4 — стойка; 5 — коробка настроек; 6 — пульт управления; 7 — подвесной пульт

На рис. 45 приведена кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 5345, пользуясь которой, рассмотрим настройки станка, работающего как по методу огибания, так и по методу копирования.

**Цепь главного движения.** Червячная фреза, установленная на оправке V, получает вращение от электродвигателя постоянного тока M1 мощностью 42 кВт с частотой вращения от 250 до 1500 об/мин, регулируемой бесступенчато. От электродвигателя через клиноременную передачу  $\frac{200}{470}$  движение передается на вал I, с которого через конические колеса  $\frac{20}{35}$  на вал II, колеса  $\frac{32}{32}$  передают движение на вал III, с которого через колеса  $\frac{20}{20}$ , вал IV, колеса  $\frac{18}{108}$  — фрезе.

Найдем минимальную частоту вращения

$$n_{\min} = 250 \frac{200}{470} 0,987 \frac{20}{35} \frac{32}{32} \frac{20}{20} \frac{18}{108} = 10 \text{ об/мин}.$$

Наибольшая частота вращения будет 60 об/мин.

**Цепь огибания и деления.** Кинематическая цепь, связывающая вращательное движение фрезы и стола: червячная фреза, вал V, колеса  $\frac{108}{18}$ , вал IV, колеса  $\frac{20}{20}$ , вал III, колеса  $\frac{32}{32}$ , вал II, колеса  $\frac{35}{20}$ , вал I, колеса  $\frac{37}{56}$ , вал VIII, колеса  $\frac{56}{37}$ , вал IX, колеса  $\frac{32}{58}$ , вал X, колеса  $\frac{58}{32}$ , вал XI, с которого движение на вал XII может быть передано через колеса  $\frac{32}{64}$  или  $\frac{60}{64}$ , дифференциал с муфтой M<sub>12</sub>, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал XIV, муфту M<sub>б</sub>, колеса  $\frac{50}{62}$ , вал XV, колеса  $\frac{62}{62}$ , вал XVa, колеса  $\frac{62}{63}$ , вал XVI, червячную передачу стола  $\frac{1}{300}$ .





76



Расчетные перемещения для цепи фреза—заготовка (стол) запишутся так:

$$\frac{z}{k} \text{ об. фрезы} \rightarrow 1 \text{ об. стола.}$$

Уравнение перемещений представится в виде

$$\frac{z}{k} \frac{108}{18} \frac{20}{20} \frac{32}{32} \frac{35}{20} \frac{37}{56} \frac{56}{37} \frac{32}{58} \frac{58}{32} i_k t_{\text{диф}} \frac{a}{b} \frac{o}{a} \frac{50}{62} \times \\ \times \frac{62}{62} \frac{62}{63} \frac{1}{300} = 1,$$

где  $i_k$  — передаточное отношение  $\frac{32}{64}$  или  $\frac{60}{40}$ ;  $t_{\text{диф}} = 1$  — передаточное отношение дифференциала от вала  $XII$  к валу  $XI/a$ .

Решая уравнение, получим при  $i_k = \frac{32}{64} \frac{a}{b} \frac{o}{d} = \frac{24k}{z}$ , при  $i_k = \frac{60}{40}$   $\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{72k}{z}$ .

**Вертикальная подача.** Стол станка жестко связан с винтом вертикальной подачи следующей кинематической цепью: стол — червячная передача  $\frac{300}{1}$ , вал  $XVI$ , колеса  $\frac{63}{62}$ , вал  $XVa$ , колеса  $\frac{62}{50}$ , вал  $XIVa$ , червячная передача  $\frac{1}{56}$ , вал  $XVII$ , муфта 8 включена, сменные колеса гитары подач  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$ , вал  $XIX$ ,  $i_k$ , валы  $XX$  и  $XXI$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{40}{38}$ , вал  $XXIII$ , колеса  $\frac{38}{40}$ , вал  $XXIVb$ , червячная передача  $\frac{2}{28}$ , винт вертикальной подачи с шагом  $4\pi$  (наружный диаметр 120 мм).

Расчетные перемещения

1 оборот столт  $\rightarrow s_b$  мм/об. стола;

$$1 \frac{300}{1} \frac{63}{62} \frac{62}{50} \frac{1}{56} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} i_k \frac{25}{25} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{2}{28} 4\pi = s_b;$$

где  $i_k$  — передаточное отношение коробки на две скорости.

$$\text{При } i_k = \frac{48}{48} \frac{64}{64} = 1 \quad \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{14}{27\pi} = 0,16 s_b;$$

$$\text{при } i_k = \frac{32}{64} \frac{64}{64} = \frac{1}{2} \quad \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{7}{27\pi} = 0,08 s_b.$$

Таким образом, при нарезании прямозубых колес по методу огибания необходимо настроить гитару деления, гитару подач и установить необходимую частоту вращения фрезы.

**Нарезание прямозубых колес по методу копирования.** В качестве режущего инструмента применяют дисковую фрезу. В процессе нарезания зуба заготовка неподвижна, поэтому ее деление производят специальным делительным механизмом с западающей планкой (рис. 46) — периодически; вертикальная подача не связана со столом станка.

**Делительный механизм.** Движение от электродвигателя  $M2$  ( $N = 4,4$  кВт;  $n = 1350$  об/мин) передается на вал  $I$ , далее через передачу  $\frac{17}{68}$  и кулачковую муфту  $M_{10}$  на ведущий вал  $II$  делительного механизма. На валу  $III$  установлены два червячных колеса, одно из них показано на шпонке, а второе свободно. Оба колеса имеют удлиненные втулки, снабженные пазами, куда заходит фиксатор при работе станка (кулачковая муфта  $M_{10}$  выключена). Червячные колеса соединены передачей  $\frac{21}{36}$ . Перед началом делительного поворота фиксатор оттягивается из пазов и включается муфта  $M_{10}$ . Механизм начинает работать. Это делительное движение происходит до тех пор, пока вращающиеся с разными скоростями втулки колес не займут такое положение, при котором их пазы встретятся и фиксатор застопорит оба червячных колеса, а муфта  $M_{10}$  выключится. Следовательно, втулки червячных колес по отношению друг к другу должны сделать один или несколько полных оборотов.

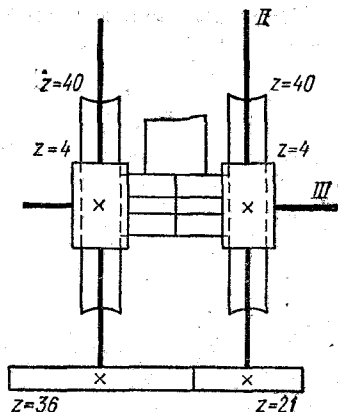


Рис. 46. Делительный механизм для одиночного деления

Найдем ту относительную частоту вращений втулок червячных колес, при которой происходит делительное движение. Для этой цели обратимся к зубчатым колесам, соединяющим оба червяка. Их передаточное отношение  $\frac{21}{36} = \frac{17}{12}$ . Следовательно, когда червячное колесо, посаженное на шпонке вала  $III$ , сделает 12 оборотов, червячное колесо, свободно посаженное на том же валу, сделает семь оборотов. Напишем расчётное уравнение

$$n \left( \frac{4}{40} - \frac{21}{36} \frac{4}{40} \right) = 5,$$

откуда  $n = 120$  оборотов.

Поэтому, когда вал  $II$  делительного механизма сделает 120 оборотов, заготовка должна повернуться на величину  $\frac{1}{z_H}$ .

**Настройка гитары деления.** От вала  $II$  через червячную передачу  $\frac{4}{40}$ , вал  $III$ , передачу  $\frac{42}{60}$ , вал  $XI$ , передачу  $\frac{60}{40}$ , дифференциал, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал  $XIV$ , передачу  $\frac{50}{62}$ , вал  $XVa$ , передачу  $\frac{62}{63}$ , вал  $XVI$ , червячную передачу стола  $\frac{1}{300}$  движение передается столу.

Расчетные перемещения

120 об. вала  $II \rightarrow \frac{1}{z}$  об. стола;

$$120 \frac{4}{40} \frac{42}{60} \frac{60}{40} 1 \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{50}{62} \frac{62}{63} \frac{1}{300} = \frac{1}{z},$$

откуда

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{30}{z}.$$

Дифференциал работает как простая передача  $i_{\text{диф}} = 1$ .

**Вертикальная подача.** В данном случае главный электродвигатель  $M1$  ( $N = 42$  кВт;  $n = 250 \div 1500$  об/мин) должен быть связан с винтом вертикальной подачи следующей кинематической цепью: (см. рис. 46): электродвигатель  $M1$ , клиноременная передача  $\frac{200}{470}$ , вал  $I$ , колеса  $\frac{37}{56}$ , вал  $VIII$ , колеса  $\frac{56}{37}$ , вал  $IX$ , колеса  $\frac{32}{58}$ , вал  $X$ , колеса  $\frac{58}{32}$ , вал  $XI$ , колеса  $\frac{20}{20}$ , муфта  $M_7$ , сменные колеса гитары подачи  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$ , вал  $XIX$ , колеса  $\frac{48}{48} \frac{64}{64}$ , валы  $XX$  и  $XXI$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{40}{38}$ , вал  $XXIII$ , колеса  $\frac{38}{40}$ , вал  $XXIV$ , червячная передача  $\frac{2}{28}$ , шаг винта вертикальной подачи 4л мм.

Напишем расчетное уравнение для определения минимальной величины вертикальной подачи  $s_{\min}$  при частоте вращения электродвигателя 250 об/мин:

$$s_{\min} = 250 \frac{200}{470} 0,985 \frac{37}{56} \frac{56}{37} \frac{32}{58} \frac{58}{32} \frac{20}{20} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \times \\ \times \frac{48}{48} \frac{64}{64} \frac{25}{25} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{2}{28} 4\pi,$$

где 0,985 — коэффициент скольжения ременной передачи при  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$  равен 1.

После подсчета получим  $s_{\min} = 50$  мм/мин. Принимая при этой кинематической цепи максимальную частоту вращения электродвигателя 1500 об/мин, получим  $s_{\max} = 300$  мм/мин.

Таким образом, при наличии электродвигателя  $M1$  с бесступенчатым регулированием от 250 до 1500 об/мин получим вертикальные подачи в пределах 50—300 мм/мин, регулируемых также бесступенчато.

**Нарезание косозубых колес методом обкатки.** Гитары деления и вертикальной подачи настраивают так же, как и при нарезании прямозубых зубчатых колес. Необходимо настроить дополнительную цепь, связывающую фрезу с заготовкой, посредством дифференциальной передачи.

Дополнительная цепь вращения фрезы и заготовки: заготовка-стол, червячная пара  $\frac{300}{1}$ , вал  $XVI$ , колеса  $\frac{63}{62}$ , вал  $XVa$ , передача  $\frac{62}{62}$ , вал  $XV$ , передача  $\frac{62}{50}$ , вал  $XIVa$ , сменные колеса гитары вертикальной подачи  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$ , коробка перебора  $\left(\frac{48}{48} \text{ или } \frac{32}{64}\right)$ , вал  $XX$ , сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$ , вал  $XXXII$ , червячная передача  $\frac{2}{40}$ , диф-

ференциал, коробка перебора  $i_k \left( \frac{64}{32} \frac{32}{32} \text{ или } \frac{40}{60} \frac{32}{32} \right)$ , вал IX, колеса  $\frac{37}{56}$ , вал VIII, колеса  $\frac{56}{37}$ , вал I, колеса  $\frac{20}{35}$ , вал II, колеса  $\frac{32}{32}$ , вал III, колеса  $\frac{20}{20}$ , вал IV, колеса  $\frac{18}{108}$ , вал V, червячная фреза.

Расчетные перемещения запишутся так:

$$1 \text{ об.стола} \rightarrow \pm \frac{z}{k} \frac{s_B}{T} \text{ об.фрезы};$$

$$1 \frac{300}{1} \frac{63}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{50} \frac{1}{56} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} i_{к2} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{2}{40} i_{\text{диф}} i_k \frac{37}{56} \times$$

$$\times \frac{56}{37} \frac{20}{35} \frac{32}{32} \frac{20}{20} \frac{18}{108} = \frac{z}{k} \frac{s_B}{T}.$$

В расчетном уравнении  $i_{\text{диф}} = \frac{2}{1}$ . Принимая  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{14 s_B}{27 \pi}$ ;  $i_{к1} = \frac{48}{48}$ ;  $i_{к2} = \frac{64}{32}$  и  $T = \frac{\pi m z}{\sin \beta}$ ,

получим

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{15 \sin \beta}{km}.$$

Принимая  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{14 s_B}{27 \pi}$ ;  $i_{к1} = \frac{48}{48}$  и  $i_{к2} = \frac{40}{60}$ , получим

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{45 \sin \beta}{km}.$$

Нарезание косозубых колес методом копирования. Деление заготовки на равные части осуществляют от делительного механизма, вертикальную подачу (минутную) осуществляют от главного электродвигателя. Для получения косого зуба необходимо настроить гитару дифференциала. Кинематическая цепь, связывающая вертикальное перемещение фрезы с поворотом стола: ходовой винт вертикальной подачи, червячная передача  $\frac{28}{2}$ , вал XXIV, колеса  $\frac{40}{38}$ , вал XXIII, колеса  $\frac{38}{40}$ , вал XXII, колеса  $\frac{25}{25}$ , вал XXI, колеса  $\frac{64}{64}$ , вал XX, сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , вал XXXII, червячная передача  $\frac{2}{40}$ , дифференциал, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , валы XIV и XIVa, соединенные муфтой  $M_3$ , колеса  $\frac{50}{62}$ , вал XV, колеса  $\frac{62}{62}$ , вал XVa, колеса  $\frac{62}{63}$ , вал XVI, червячная передача стола  $\frac{1}{130}$ .

Расчетные перемещения в том случае, когда дисковая фреза пройдет по вертикали путь, равный величине шага винтовой линии  $T$  и стол с заготовкой сделает один оборот:

$T$  перемещений фрезы  $\rightarrow 1$  об. стола;

$$\frac{T}{4\pi} \frac{28}{2} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{25}{25} \frac{64}{64} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{2}{40} \frac{2}{1} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{50}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{63} \frac{1}{130} = 1.$$

Передаточное отношение дифференциала равно 2, шаг  $T = \frac{\pi m z^*}{\sin \beta}$ , передаточное отношение гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{30}{z}$ . После подстановки и необходимых преобразований имеем

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{26}{21} \sin \beta.$$

Нарезание червячных колес методом радиальной подачи. Гитару деления настраивают так же, как и при нарезании прямозубых колес. Рассмотрим сначала радиальный метод нарезания червячных колес.

Кинематическая цепь, связывающая вращение стола и поступательное перемещение фрезы: стол-заготовка, червячная передача  $\frac{300}{1}$ , вал XVI, зубчатые колеса  $\frac{63}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{50}$ , вал XIVa, червячная передача  $\frac{1}{56}$ , сменные колеса гитары радиальной подачи  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$ , вал XIX; колеса  $\frac{32}{64}$ , вал XXII, червячная передача  $\frac{28}{1}$ , винт горизонтального перемещения стойки с шагом, равным  $4\pi$ . Расчетные перемещения будут:

1 об. стола  $\rightarrow s_p$  мм/об. стола;

$$1 \frac{300}{1} \frac{63}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{50} \frac{1}{56} \frac{a_3}{b_3} \times \\ \times \frac{c_3}{d_3} \frac{32}{64} \frac{1}{28} 4\pi = s_p,$$

откуда

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{55}{27\pi} s_p \text{ или } \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = 0,66 s_p.$$

**Тангенциальный метод нарезания червячных колес.** При нарезании червячных колес тангенциальным (осевым) методом главный суппорт снимают и вместо него устанавливают тангенциальный суппорт (рис. 47), имеющий ходовой винт для сообщения осевого перемещения червячной фрезе, установленной на валу V. С колесом A (см. рис. 45) вала IIIr главного суппорта соединяют колесо B (см. рис. 45), посаженное на валу IVm тангенциального суппорта, а колесо C, посаженное на валу III, со-

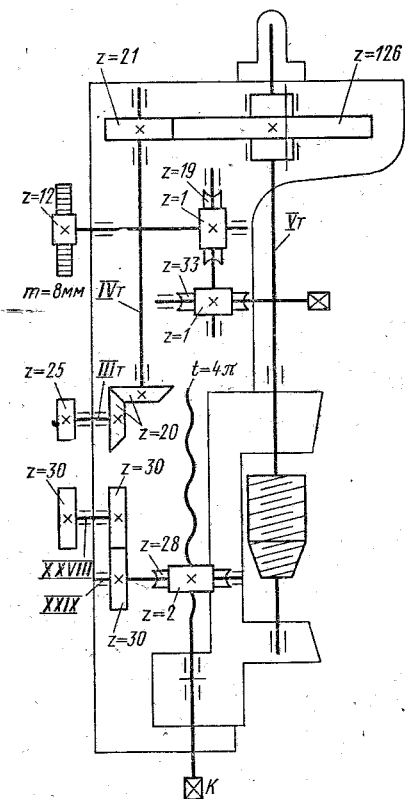


Рис. 47. Протяжной суппорт зубофрезерного станка мод. 5345

единяют с колесом  $D$ , свободно сидящим на валу  $III$  главного суппорта.

Кинематическую цепь, связывающую осевое перемещение червячной фрезы вдоль собственной оси с вращением стола, следует рассматривать с рис. 45. Рассмотрим эту кинематическую цепь: ходовой винт тангенциального суппорта, червячная передача  $\frac{28}{2}$ , вал  $XXIX$ , колеса  $\frac{30}{30}$ , вал  $XXXVIII$ , колеса  $\frac{30}{62} \frac{62}{30}$ , вал  $XXVII$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXVI$ , колеса  $\frac{20}{20}$ , вал  $XXV$ , колеса  $\frac{36}{36}$ , муфта  $M_9$  (включена вправо), вал  $XXIV$ , колеса  $\frac{40}{38}$ , вал  $XXIII$ , колеса  $\frac{38}{40}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXI$ , колеса  $\frac{64}{64}$ , вал  $XX$ , сменные колеса гитары дифференциала  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , вал  $XXXII$ , червячная передача  $\frac{2}{40}$ , дифференциал, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{g}{d}$ , валы  $XIV$  и  $XIVa$ , муфта  $M_6$  (включена вправо), колеса  $\frac{50}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{63}$ , вал  $XVI$ , червячная передача стола  $\frac{1}{300}$ .

Расчетные перемещения запишем так:

$\pi m k$  перемещений фрезы  $\rightarrow \frac{k}{z}$  вращений стола;

$$\frac{\pi m k}{4\pi} \frac{28}{2} \frac{30}{30} \frac{30}{62} \frac{62}{30} \frac{25}{25} \frac{20}{20} \frac{36}{36} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{25}{25} \frac{62}{64} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{2}{40} \frac{2}{1} \times \\ \times \frac{a}{b} \frac{g}{d} \frac{50}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{63} \frac{1}{300} = \frac{k}{z}.$$

Передаточное отношение дифференциала равно 2. Принимая  $\frac{a}{b} \frac{g}{d} = \frac{24k}{z}$ , будем иметь

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{15}{km_0}$$

При  $\frac{a}{b} \frac{g}{d} = \frac{72k}{z}$

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{45}{km_0},$$

где  $m_0$  — осевой модуль, мм.

В условиях тяжелого машиностроения при нарезании червячных колес крупных модулей широко применяют метод тангенциального нарезания, но вместо дорогой конусно-червячной фрезы применяют одиночный резец, так как это экономически выгодно.

О с е в о е п е р е м е щ е н и е ф р е з ы (см. рис. 45): Стол, червячная пара  $\frac{300}{1}$ , вал  $XVI$ , колеса  $\frac{63}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{50}$ , вал  $XIVa$ , червячная пере-



дача  $\frac{1}{56}$ , сменные колеса  $\frac{a_3 c_3}{b_3 d_3}$ , вал  $XIX$ , колеса  $\frac{48}{48}$ , вал  $XX$ , колеса  $\frac{64}{64}$ , вал  $XXI$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{40}{48}$ , вал  $XXIII$ , колеса  $\frac{38}{40}$ , вал  $XXIV$ , муфта  $M_9$ , колеса  $\frac{36}{36}$ , вал  $XXV$ , колеса  $\frac{20}{20}$ , вал  $XXVI$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXVII$ , колеса  $\frac{30}{62}$ , вал  $III$ , колеса  $\frac{62}{30}$ , вал  $XXVIII$ , колеса  $\frac{30}{30}$ , вал  $XXIX$ , червячная передача  $\frac{2}{28}$ , ходовой винт протяжного суппорта с шагом  $4\pi$ .

Расчетные перемещения запишутся так:  
 $1 \text{ об. стола} \rightarrow s_0$  перемещений фрезы, мм:

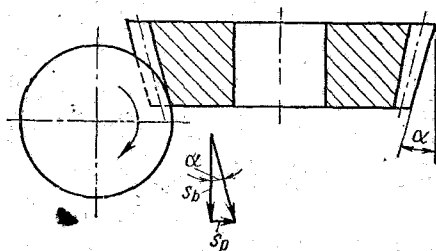
$$1 \frac{300}{1} \frac{63}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{50} \frac{1}{56} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{48}{48} \frac{64}{64} \frac{25}{25} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{36}{36} \frac{20}{20} \frac{25}{25} \times \\ \times \frac{30}{62} \frac{62}{30} \frac{30}{30} \frac{2}{28} 4\pi = s_0.$$

Решая это уравнение, находят  $\frac{a_3 c_3}{b_3 d_3} = \frac{14}{27} \pi s_0$  или  $\frac{a_3 c_3}{b_3 d_3} = 0,16 s_0$ .

**Гитара малого конуса.** Нарезание конических колес с малым углом конуса при вершине червячной фрезой производят при одновременном включении вертикальной  $s_B$  и радиальной  $s_P$  подач с помощью гитары малого конуса. Из рис. 48 видно, что  $\frac{s_P}{s_B} = \tan \alpha$  (для заготовки долбяка  $\alpha$  — задний угол).

Кинематически обе подачи связаны следующим образом (см. рис. 45): винт вертикальной подачи с шагом  $4\pi$ , червячная передача  $\frac{28}{2}$ , вал  $XXIV$ , колеса  $\frac{40}{38} \frac{38}{40}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXI$ , колеса  $\frac{64}{64}$ , вал  $XX$ , колеса  $\frac{28}{56} \frac{24}{60}$ , сменные колеса гитары малого конуса  $\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$ , вал  $XXX$ , червячная передача  $\frac{1}{28}$ , винт горизонтальной подачи с шагом  $4\pi$ .

Расчетные перемещения, связывающие указанные подачи, будут  $s_B$  мм/об.  $\rightarrow s_P$  мм/об;



$$\frac{s_B}{4\pi} \frac{28}{2} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{25}{25} \frac{64}{64} \frac{28}{56} \times \\ \times \frac{24}{60} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{1}{28} 4\pi = s_P.$$

Подставляя в уравнение  $\frac{s_P}{s_B} = \tan \alpha$  и решив его относительно передаточного отношения гитары малого конуса, получим

$$\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2} = 10 \tan \alpha.$$

Рис. 48. Нарезание конического колеса на зубофрезерном станке

**Врезание при методе копирования.** При нарезании зубчатых колес по методу копирования, когда заготовка неподвижна, вместо осевого (по вертикали) врезания целесообразно применить радиальное, что приводит к значительному сокращению машинного времени. Радиальная подача фрезы  $s_p$  может быть отнесена к одному обороту фрезы или выражена в миллиметрах в минуту.

Кинематическая связь между фрезой и ее поступательным перемещением, отнесенным к одному обороту фрезы (см. рис. 45): дисковая фреза, вал V, колеса  $\frac{108}{18}$ , вал IV, колеса  $\frac{20}{20}$ , вал III, колеса  $\frac{32}{32}$ , вал II, колеса  $\frac{35}{20}$ , вал I, колеса  $\frac{37}{56}$ , вал VIII, колеса  $\frac{56}{37}$ , вал IX, колеса  $\frac{32}{58}$ , вал X, колеса  $\frac{58}{32}$ , вал XI, колеса  $\frac{20}{38}$ , кулачковая муфта  $M_7$  (включена), сменные колеса гитары радиальной подачи  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3}$ , электромагнитная муфта  $ЭТМ_1$  (включена), вал XIX, колеса  $\frac{32}{64}$ , вал XXII, червячная передача  $\frac{1}{28}$ , винт горизонтальной подачи с шагом  $4\pi$ .

Расчетные перемещения запишутся следующим образом:

1 об. фрезы  $\rightarrow s'_p$  поступательного перемещений фрезы, мм/об. фрезы;

$$1 \frac{108}{18} \frac{20}{20} \frac{32}{32} \frac{35}{20} \frac{37}{56} \frac{56}{37} \frac{32}{58} \frac{58}{32} \frac{20}{38} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{32}{64} \frac{1}{28} 4\pi = s'_p,$$

откуда

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{38s'_p}{15\pi} = 0,8s'_p.$$

Напишем величину радиальной подачи  $s'_{p \min}$ , выраженную в мм/мин (двигатель установлен на  $n = 250$  об/мин):

$$250 \frac{200}{470} 0,985 \frac{37}{56} \frac{56}{37} \frac{32}{58} \frac{58}{32} \frac{20}{38} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{32}{64} \frac{1}{28} 4\pi = s'_{p \min}.$$

При  $\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = 1$ ,  $s'_{p \min} = 13$  мм/мин.

При частоте вращения электродвигателя  $n = 1500$  об/мин  $s'_{p \max} = 13 \cdot 6 = 78$  мм/мин.

**Ускоренное вращение стола станка.** От электродвигателя  $M2$  ( $N = 4,4$  кВт;  $n = 1350$  об/мин) движение передается на вал Iу, колеса  $\frac{17}{68}$ , вал IIу, колеса  $\frac{68}{68}$ , вал IIIу, муфту  $M_8$  (включена), колеса  $\frac{23}{35}$ , вал XIVа, колеса  $\frac{50}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{63}$ , вал XVI, червячную передачу стола.

Расчетные перемещения запишутся так:

1350 об. электродвигателя в минуту  $\rightarrow n$  об. стола в минуту;

$$1350 \frac{17}{68} \frac{68}{68} \frac{23}{35} \frac{50}{62} \frac{62}{62} \frac{62}{63} \frac{1}{300} = 0,58 \text{ об/мин.}$$

**Ускоренное вертикальное перемещение фрезы.** От электродвигателя  $M2$  приводится вал  $Iy$ , колеса  $\frac{17}{68}$ , вал  $IIy$ , колеса  $\frac{68}{68}$ , вал  $IIIy$ , колеса  $\frac{68}{20}$ , вал  $IVy$ , колеса  $\frac{20}{60}$   $\frac{60}{34}$ , вал  $XIX$ , электромагнитная муфта  $ЭТМ_2$  (включена). С вала  $XIX$  на вал  $XX$  движение может быть передано с помощью колес  $\frac{48}{48}$  или  $\frac{32}{64}$ , далее с вала  $XX$  на колеса  $\frac{64}{64}$ , вал  $XXI$ , колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $XXII$ , колеса  $\frac{40}{38}$ , вал  $XXIII$ , колеса  $\frac{38}{40}$ , кулачковую муфту  $M_9$  (включена), вал  $XXIV$ , червячную передачу, винт вертикальной подачи с шагом  $4\pi$  (см. рис. 45).

Расчетные перемещения запишутся так:

1350 об. электродвигателя в минуту  $\rightarrow s_{в.у}$  мм/мин;

$$s_{в.у} = 1350 \frac{17}{68} \frac{68}{68} \frac{68}{20} \frac{20}{60} \frac{60}{34} \frac{48}{48} \frac{64}{64} \frac{25}{25} \frac{40}{38} \frac{38}{40} \frac{2}{28} 4\pi = \\ = 600 \text{ мм/мин.}$$

При значении передаточного отношения  $\frac{32}{64}$  с вала  $XIX$  на  $XX$   $s_{в.у} = 300$  мм/мин.

**Ускоренное радиальное перемещение фрезы.** От электродвигателя  $M2$  через зубчатые колеса  $\frac{17}{68}$ , вал  $IIy$ , колеса  $\frac{68}{68}$ , вал  $IIIy$ , колеса  $\frac{68}{20}$ , вал  $IVy$ , колеса  $\frac{20}{60}$ , вал  $XX$ , колеса  $\frac{60}{34}$ , вал  $XIX$ , колеса  $\frac{34}{34}$   $\frac{34}{34}$ , вал  $XXX$ , муфту  $ЭТМ_8$  (включена), червячную передачу  $\frac{1}{28}$ , винт горизонтальной подачи с шагом  $4\pi$  (см. рис. 45).

Расчетные перемещения запишутся так:

$$1350 \frac{17}{68} \frac{68}{68} \frac{68}{20} \frac{20}{60} \frac{60}{34} \frac{34}{34} \frac{34}{34} \frac{1}{28} 4\pi = s_{р.у},$$

откуда  $s_{р.у} = 300$  мм/мин.

**Медленное перемещение фрезы в горизонтальном направлении при установлении глубины фрезерования.** От электродвигателя  $M3$  ( $N = 2,7$  кВт;  $n = 900$  об/мин) через муфту  $ЭТМ_4$ , червячную передачу  $\frac{1}{46}$  движение далее передается по кинематической цепи ускоренного радиального перемещения фрезы (см. рис. 45).

Расчетные перемещения запишем так:

900 об. электродвигателя в минуту  $\rightarrow s_y$  перемещений фрезы, мм/мин;

$$900 \frac{1}{46} \frac{17}{68} \frac{68}{68} \frac{68}{20} \frac{20}{60} \frac{60}{34} \frac{34}{34} \frac{34}{34} \frac{1}{28} 4\pi = s_y,$$

откуда  $s_y = 4,4$  мм/мин.

Нарезание шевронных колес не рассматривается.

**Привод транспортера стружки.** От электродвигателя М4 ( $N = 0,18$  кВт;  $n = 1400$  об/мин) через червячную передачу  $\frac{3}{50}$  приводится во вращение шнек транспортера.

**Дополнительная оснастка станка.** Кроме основного фрезерного суппорта, станок может быть снабжен следующими устройствами: 1) протяжным суппортом для фрезерования червячных зубчатых колес методом тангенциальной подачи; 2) головкой для фрезерования зубчатых колес внутреннего зацепления с помощью пальцевой и дисковой фрез; 3) головкой для фрезерования зубчатых колес наружного зацепления пальцевой фрезой; 4) головкой для фрезерования зубчатых колес наружного зацепления пальцевой фрезой, оснащенной твердым сплавом.

## 6. НАЛАДКА ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Для подготовки зубофрезерного станка к работе необходимо: 1) установить заготовку на столе, червячную фрезу, глубину фрезерования и упоры автоматического выключения фрезерования и подачи; 2) настроить гитары сменных зубчатых колес и установить рукоятки на коробках передач и подач.

Основные правила установки и закрепления заготовки на столе зубофрезерного станка следующие: а) обязательное совпадение оси нарезаемого колеса с осью стола; б) перпендикулярность базового торца заготовки оси вращения стола; в) расположение опорных поверхностей заготовки вблизи места приложения сил резания; г) надежное закрепление заготовки, исключающее поворот ее под действием сил резания.

В соответствии с размерами заготовки подбирают оправку и подставку. С помощью индикатора проверяют биение оправки. Для точных колес допустимое биение оправки составляет 0,01—0,02 мм. Средние и крупные колеса устанавливают на литых чугунных подставках в виде стоек или колец. После установки подставок, заготовок и шайб проверяют биение предварительно закрепленной заготовки. Перед установкой заготовки необходимо тщательно очистить все центрирующие и опорные поверхности от грязи и стружки.

Подобрав червячную фрезу по модулю и углу зацепления, а для нарезания червячных колес и по диаметру делительного цилиндра и необходимую фрезерную оправку, тщательно протирают посадочные места, проверяя, нет ли забоин, которые могут явиться причиной перекоса оправки и биения фрезы после ее закрепления. Биение фрезы проверяют по контрольному пояску.

При наладке станка для нарезания прямозубых и косозубых колес червячную фрезу со шпинделем и суппортом поворачивают на некоторый угол в вертикальной плоскости и устанавливают так, чтобы направление витков фрезы совпало с направлением зубьев колеса. Если эти направления не будут совпадать, то профили обрабатываемых зубьев будут искажены.

Червячные фрезы бывают право- и левозаходными. Если помнить правило установки фрезы, то легко определить, в какую сторону надо

щью сменных зубчатых колес, выбираемых по таблице. Для подбора сменных зубчатых колес гитары дифференциала следует также пользоваться таблицей, которая имеется в паспорте станка.

Проверить настройку гитары дифференциала можно следующим образом (рис. 50). На суппорте станка закрепляют кронштейн с иглой, которой на заготовке наносят вертикальную и наклонные риски; первую риску наносят при вертикальном перемещении суппорта и неподвижном столе, а вторую — с включением цепи дифференциала и подачи. В результате движения суппорта и вращения автомата на ободу колеса будет получена наклонная риска. По наклону этой риски можно определить угол наклона зубьев  $\beta_e$  по окружности выступов колеса диаметром  $D_e$  и произвести расчеты наклона зубьев на делительном цилиндре.

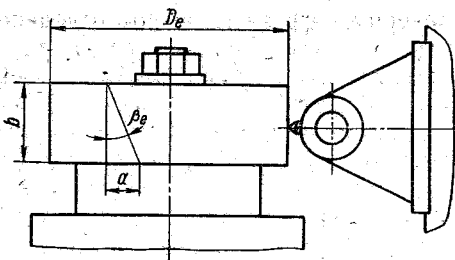


Рис. 50. Схема проверки угла наклона зубьев

## 7. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Зубообрабатывающие станки, выпущенные за последние годы, характеризуются высокой производительностью, точностью, степенью автоматизации и удобствами в обслуживании. Зубофрезерные станки вследствие их универсальности, точности и производительности находят наибольшее применение при зубонарезании. Непрерывное совершенствование конструкции зуборезных станков направлено на снижение машинного и вспомогательного времени, а также на создание удобств в обслуживании.

Следует особо подчеркнуть, что одно из основных требований, предъявляемых к новым металлорежущим станкам, в том числе и зубообрабатывающим, — это улучшение их динамических характеристик, которые существенно влияют на стойкость режущего инструмента, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Особое влияние оказывают эти факторы при эксплуатации станков с программным управлением, при работе на станках режущим инструментом, оснащенным пластинками твердого сплава.

Рассмотренный универсальный зубофрезерный станок мод. 5К32, выпускаемый Егорьевским станкостроительным заводом «Комсомолец», является базовым станком серии К.

В табл. 8 приведены технические характеристики базовых моделей зубофрезерных станков-полуавтоматов серии К.

Эти станки по своим техническим характеристикам и по механизмам, обеспечивающим прогрессивные методы зубофрезерования, отвечают мировым стандартам. Зубофрезерные станки базовых мод. 5К324, 5К32, 5К328 предназначены для использования их в условиях

## Технические характеристики зубофрезерных станков

Параметр	5К324	5К32	5К328
Диаметр нарезаемых колес, мм	500	800 (1000)	1250
Нарезаемый модуль, мм	8	10	12
Угол наклона зубьев, град	$\pm 60$	$\pm 60$	$\pm 60$
Вертикальный ход фрезы, мм	360	360	560
Размеры фрез, устанавливаемых в суппорте, мм:			
диаметр	180	180	225
длина	200	200	240
Частота вращения фрезерного шпинделя, об/мин	50—310	50—310	40—200
Осевое перемещение фрезы, мм	100	100	240
Подачи, мм/об:			
вертикальная	0,8—5	0,8—5	0,8—5
радиальная	0,35—2,2	0,35—2,2	0,35—2,2
осевая	0,25—1,6	0,25—1,6	0,25—1,6
Мощность главного электродвигателя, кВт	7	7	14
Габариты станка, мм	2500×1440	2625×1682	3580×1790
Масса, кг	6400	6600	14 000

единичного, мелкосерийного и серийного производства. В станках мод. 5К324, 5К32, снабженных шестеренными коробками с электромагнитными муфтами, для изменения частоты вращения фрезы и величины подачи используют ползунковые переключатели на пульте управления, которые осуществляют включение электромагнитных муфт. Это дает возможность осуществить автоматический двухпроходный цикл зубофрезерования с автоматическим переключением скоростей и подач перед вторым рабочим ходом, что сокращает вспомогательное время.

Для условий серийного производства станки мод. 5К324 и 5К32 изготавливают с коробками скоростей и подач, настраиваемых с помощью сменных колес. В станке мод. 5К328 для изменения скоростей и подач служат скользящие блоки зубчатых колес. Эти станки являются базовыми, на основе которых выполняют универсальные станки упрощенной конструкции, станки повышенной точности; станки с многозаходными делительными парами; специализированные и специальные станки.

Зубофрезерные станки универсального типа мод. 5К324А и 5К32А упрощены; в них вместо непрерывного осевого перемещения фрезы предусмотрено автоматическое периодическое перемещение в конце каждого цикла нарезания. Станки предназначены для работы в условиях серийного и массового производства.

Зубофрезерные станки повышенной точности мод. 5К324П и 5К32П предназначены для нарезания колес высокой степени точности. Высокая точность зубонарезания достигается при увеличении в 2 раза передаточного отношения делительной червячной пары стола и более

точного изготовления деталей и узлов станка, точность которых влияет на точность нарезаемых колес. Эти станки используют для чистовых операций.

За последние годы появились оригинальные зубофрезерные станки, кинематические цепи которых не имеют дифференциалов, а нарезание косозубых колес осуществляется за счет наклона оси заготовки или направляющих. Такая конструкция имеет короткие кинематические цепи, которые обеспечивают большую точность нарезаемых колес.

**Зубофрезерный станок RA-200** фирмы Пфаутер имеет вертикальное расположение оси нарезаемого зубчатого колеса (рис. 51). Поворотные направляющие фрезерного суппорта позволяют нарезать косозубые колеса при перемещении червячной фрезы не вдоль оси нарезаемого колеса, как обычно, а вдоль нарезаемых зубьев колеса.

Такой метод нарезания косозубых колес следует рассматривать как разновидность диагонального зубофрезерования. Эта разновидность существенно отличается от диагонального зубофрезерования, показанного на рис. 40.

В станках с поворотными направляющими червячная фреза имеет две степени свободы, а именно вращение вокруг собственной оси и перемещение по наклонным направляющим. На станках с неповоротными направляющими (обычные зубофрезерные станки) червячная фреза имеет три степени свободы, а именно вращение вокруг собственной оси, перемещения по вертикали и вдоль своей оси; поэтому зубчатые колеса, нарезанные на станках с наклонными направляющими, будут иметь шероховатость профиля зуба меньше, чем у зубчатых колес, нарезанных на обычных станках.

Поворотные направляющие применяют не только в зубофрезерных станках, но и в ряде других, например, в зубодолбежных станках, нарезающих цилиндрические зубчатые колеса режущей рейкой (фирмы Мааг), и зубошлифовальных станках, когда в качестве режущего инструмента применяют абразивный червяк (станок мод. 5832). В станках фирмы Мааг долбяк поворачивают на заданный угол, а в станке мод. 5832 — шлифуемое зубчатое колесо.

**Зубофрезерный станок мод 5310A** (рис. 52). Станок предназначен для нарезания особо точных прямозубых цилиндрических колес, а также червячных колес из стали и цветных сплавов. Зубчатые колеса на станке нарезают по методу огибания червячными фрезами с полу-

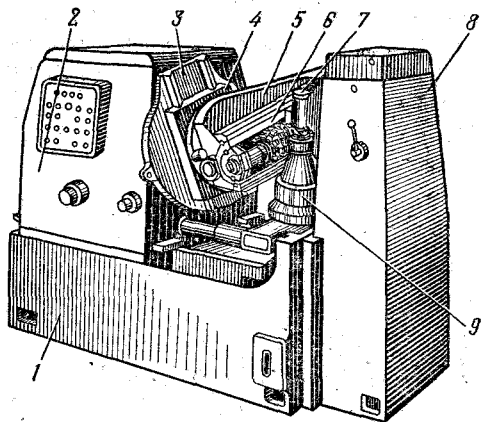


Рис. 51. Зубофрезерный станок RA-200:

1 — станина; 2 — стойка; 3 — поворотные направляющие; 4 — салазки суппорта; 5 — суппорт; 6 — оправка с червячной фрезой; 7 — верхний упор; 8 — задняя поддержка; 9 — оправка для заготовки

чением 4-й степени точности. Цилиндрические зубчатые колеса нарезают при фрезеровании по подаче и против подачи, а червячные зубчатые колеса — только при радиальной подаче червячной фрезы.

#### Краткая техническая характеристика

Модуль нарезаемых колес, мм . . . . .	1,5
Диаметр нарезаемого колеса, мм . . . . .	До 200
Ширина нарезаемых зубьев, мм . . . . .	До 120
Число зубьев нарезаемых колес . . . . .	12—400
Частота вращения фрезы, об/мин . . . . .	40—250
Число частот вращения шпинделя . . . . .	9
Число осевых и радиальных подач . . . . .	33

Станок имеет вертикальную компоновку. Ось шпинделя нарезаемого колеса и стола неподвижна. Шпиндель червячной фрезы перемещается в вертикальном направлении, а вместе со стойкой, несущей фрезерный шпиндель по горизонтальным направляющим скольжения, он перемещается в радиальном направлении.

Станок предназначен для единичного, мелкосерийного и серийного изготовления точных зубчатых колес. Шероховатость обработанных поверхностей зубьев  $Ra = 0,32 \div 0,63$  мкм.

Особо высокую точность нарезанных зубчатых колес достигают следующими путями: 1) созданием конструкции станка большой жесткости; 2) применением делительной пары с большим передаточным числом (192:1); 3) введением корригирующего устройства и делительной цепи станка для исправления накопленной погрешности; 4) точной установкой нарезаемого колеса с помощью регулируемого центра задней бабки станка; 5) введением в механизм радиальной подачи устройства для разгрузки; 6) расположением главного электродвигате-

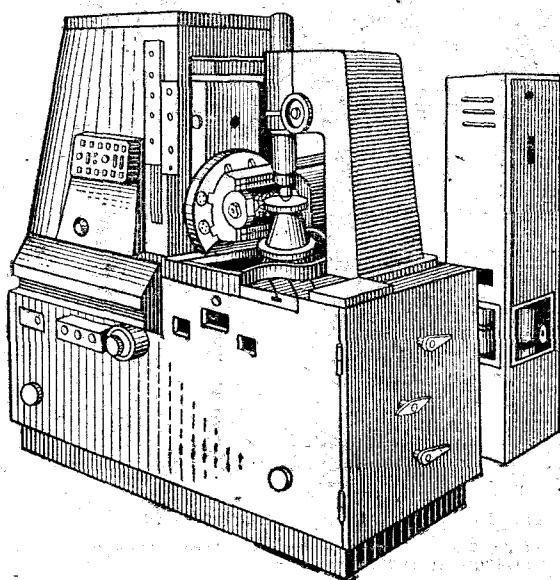


Рис. 52. Зубофрезерный станок мод. 5310А



ля ( $N = 2,2$  кВт;  $n = 1420$  об/мин), электрошкафа и гидравлического оборудования отдельно от станка, что исключает влияние температуры и вибраций на нарезаемое колесо.

Температура помещения, в котором работает такой станок, должна быть  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Станок должен быть изолирован от тепловых потоков воздуха, прямых лучей солнца, а также от сотрясения основания. Станок автоматизирован. Автоматический и полуавтоматический рабочие циклы, включающие один, два или три радиальных и осевых проходов червячной фрезы, повышают производительность зубонарезания.

**Комбинированные станки.** На рис. 53 показан комбинированный станок RA-200 фирмы Пфаутер. Такая компоновка станка дает возможность одновременно нарезать блок колес червячной фрезой и долбяком методом огибания, сократить площадь, занимаемую зуборезным станком, и обслуживающий персонал, а также повысить производительность зубонарезания. Стойка станка, несущая фрезерный суппорт, перемещается в горизонтальной плоскости. При нарезании косозубых колес направляющие фрезерного суппорта поворачиваются. Червячными фрезами можно нарезать прямозубые и косозубые колеса диаметром до 200 мм, шириной до 150 мм с наибольшими модулем 6 мм и углом наклона зуба  $40^{\circ}$ . Долбяком можно нарезать прямозубые колеса как наружного, так и внутреннего зацепления, модулем 4 мм; расстояние между осями нарезаемого колеса и долбяка для внутреннего зацепления 20 мм, для наружного 150 мм; наибольший ход долбяка 7,14 или 25 мм. В комбинированном станке скорость вращения заготовки определяется режимом зубонарезания.

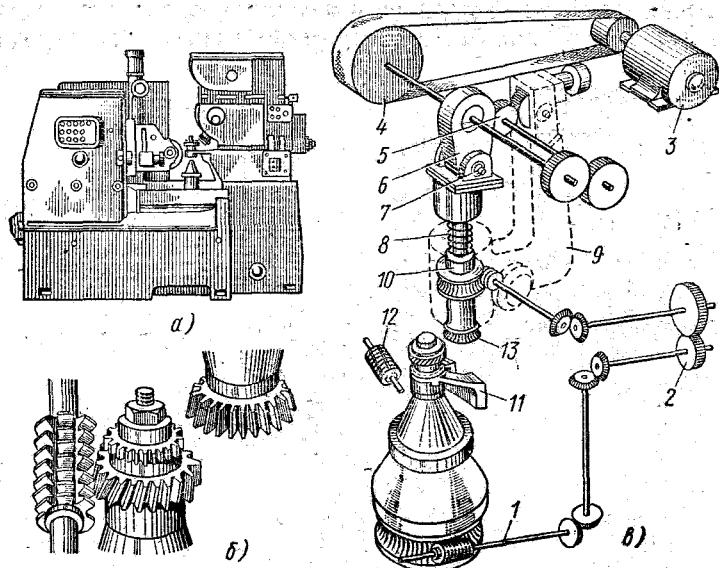


Рис. 53. Комбинированный зубофрезерный станок RA-200:

а — общий вид; б — схема обработки; в — кинематическая схема зубодолбежного устройства.

Вращательные движения заготовки и долбяка согласуются кинематической цепью (рис. 53, в): стол, несущий заготовку, червячная пара стола, вал 1, два пары конических колес, сменные колеса гитары деления 2, пара конических колес, вал штосселя с долбяком 13, червячная передача 10 на штосселе, несущем долбяк. Возвратно-поступательное перемещение долбяка осуществляется от электродвигателя 3 и ременной передачи 4 с передаточным отношением, подбираемым в зависимости от скорости резания и длины хода штосселя. Возвратно-поступательное движение штосселя с долбяком осуществляется с помощью эксцентрикового кривошипного механизма 6, работающего в сочетании с возвратной пружиной 8. Величина эксцентриситета эксцентрика определяется по наибольшей длине зуба нарезаемого колеса. Предварительное положение долбяка по высоте устанавливают прокладкой промежуточной плиты под основание зубодолбежного устройства, а более точная регулировка — эксцентриками 7. Долбяк отводят и подводят к заготовке перед рабочим ходом кулачком 5, сообщаящим кронштейну 9 колебательные движения. Червячной фрезой 12 нарезают винтовое колесо; дополнительная опора служит для крепления заготовки 11.

**Зубофрезерный станок мод ZFWZ (ГДР).** Станок работает по методу огибания с осевой (вертикальной) подачей режущего инструмента; он предназначен для нарезания цилиндрических зубчатых колес.

#### Техническая характеристика

Наибольший диаметр нарезаемого колеса, мм:	
при максимальной производительности	630
максимально возможный	710
Наибольший модуль, мм	10
Наибольший угол наклона, град	$\pm 45$
Наибольшее осевое перемещение инструмента, мм	400
Подача (бесступенчатое регулирование), мм/об	0,2—10
Наибольший диаметр режущего инструмента, мм	200
Мощность главного привода, кВт	10

Станок может работать индивидуально, а также в системе автоматической линии. Он обеспечивает нарезание зубчатых колес по 5-й степени точности (TGL-3962). Этот станок является примером оригинальной конструкции привода с принудительной синхронизацией движений режущего инструмента, нарезаемого зубчатого колеса и осевой (вертикальной) подачи инструмента с помощью электронного устройства.

На рис. 54 показана принципиальная схема построения станка ZFWZ. В нем имеются три индивидуальных привода бесступенчатого регулирования: 2 — привод вращения режущего инструмента 4; 10 — привод вертикального перемещения суппорта ходовым винтом 12; 6 — привод вращения нарезаемого зубчатого колеса 8. Каждый привод снабжен отдельным электродвигателем: 1 — вращения режущего инструмента; 9 — вертикальной подачи суппорта, 5 — вращения нарезаемого зубчатого колеса. Фактические значения движения непрерывно регистрируются указателями (датчиками): 3 — вращения

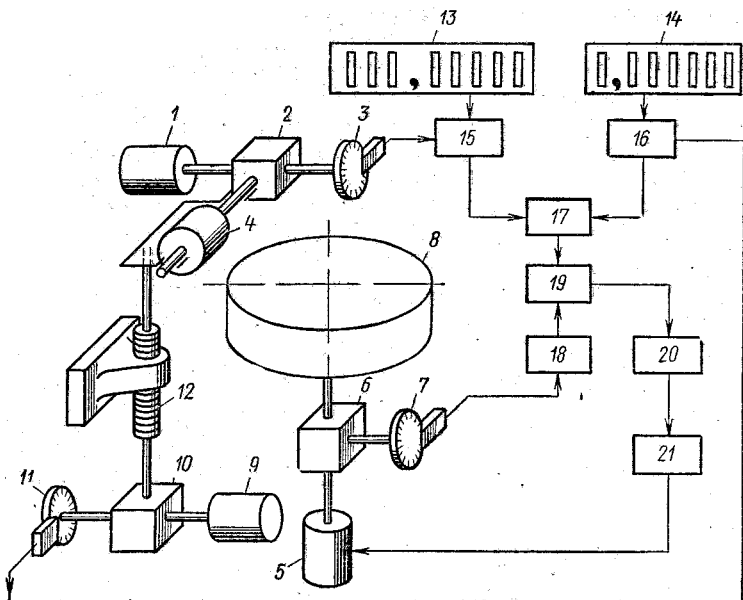


Рис. 54. Принципиальная схема зубофрезерного станка мод. ZFWZ (ГДР) с электронным устройством

инструмента; 11 — перемещения суппорта и 7 — вращения нарезаемого зубчатого колеса.

Число зубьев и угол наклона линии зуба нарезаемого колеса вводят кодом в станок. Из кода числа зубьев 13 и угла наклона 14 определяют заданную величину вращения нарезаемого колеса и передают приводу нарезаемого колеса. Частоту вращения режущего инструмента и скорость подачи согласно заданию устанавливают на станке. Электрические импульсы кодирования числа зубьев нарезаемого колеса 8 и фактическое значение частот вращения фрезы поступает от указателя 3 (в виде импульсов) в схему совпадения 15. Схема совпадения — это устройство, которое дает возможность выделять и отсчитывать электрические импульсы, совпадающие во времени. Аналогично электрические импульсы кодирования угла наклона 14 зуба колеса и фактическое значение величины вертикальной подачи, также в виде электрических импульсов, получаемых от указателя 11, поступают в систему совпадения 16. От схем совпадения 15 и 16 электрические импульсы поступают в блок указателя заданных величин 17 одновременно от указателя 7 фактических значений вращения нарезаемого колеса. Электрические импульсы поступают в блок 18 фактических значений угла поворота нарезаемого зубчатого колеса. Электрические сигналы от заданных величин 17 и получаемых фактических поступают на сравнивающую схему 19. При несовпадении (рассогласовании) посылаются электрические импульсы через цифровой аналоговый преобразователь 20 и далее на тиристорный исполнительный орган 21 для корректировки вращения нарезаемого зубчатого колеса посредством электродвигателя 5.

Таким образом, синхронизация всех движений обеспечивается цифровым регулятором посредством следящей системы управления, поэтому в станке отсутствует кинематическая цепь огибания, состоящая из сменных зубчатых колес гитар деления и дифференциала, а также дифференциальной передачи.

Следует отметить, что подготовительно-заключительное время сокращается примерно на 25%. Станок рассчитан для применения в условиях мелко- и среднесерийного производства зубчатых колес с часто изменяющимися размерами колес. Появление такого станка следует рассматривать как качественно новый этап в развитии зубофрезерных станков.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

### ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

#### 1. ДВИЖЕНИЯ В ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

**Виды работ.** Зубодолбежные станки профилируют зубья обрабатываемых колес методами обкатки или копирования; преимущественно применяют метод обкатки (рис. 55). На них нарезают прямозубые колеса внутреннего (рис. 55, а) и наружного (рис. 55, б) зацеплений, а при наличии копира и косозубого долбяка нарезают и косозубые колеса. Зубодолбежные станки удобны для нарезания зубьев на секторах (рис. 55, в) и блочных колесах (рис. 55, г). Блочные колеса можно нарезать и на зубофрезерном станке, но при этом расстояние между

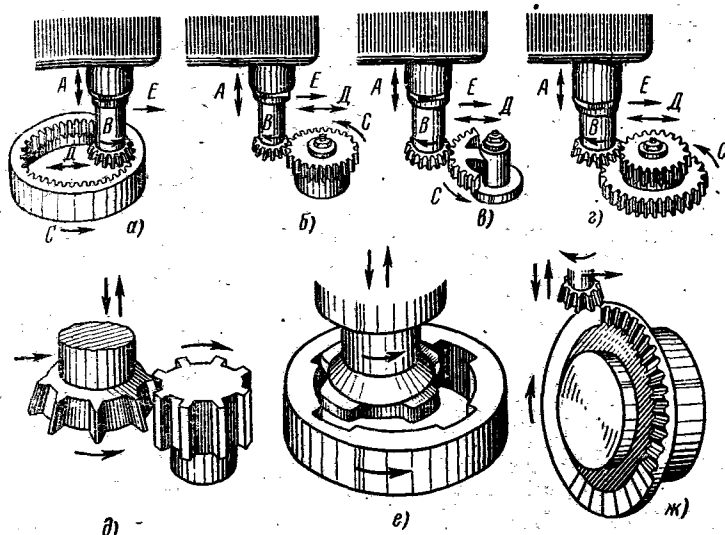


Рис. 55. Зубонарезание колес на зубодолбежном станке

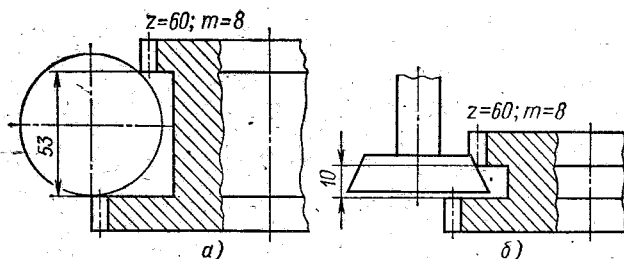


Рис. 56. Минимальный выход инструмента при нарезании блочных колес:

*а* — червячной фрезой; *б* — долбяком

зубчатыми венцами для выхода фрезы необходимо увеличить, как это показано на рис. 56, *а*. При нарезании зубьев долбяком расстояние для выхода инструмента существенно меньше (рис. 56, *б*). На этих станках при наличии специальных долбяков по методу огибания можно нарезать короткие шлицевые валы (рис. 55, *д*), шлицевые отверстия (рис. 55, *е*); зубья конической коронной шестерни (рис. 55, *ж*), а также детали других профилей.

**Движения.** При нарезании долбяком колеса наружного зацепления, долбяк и нарезаемое колесо должны вращаться в разные стороны, например долбяк по часовой стрелке, а колесо — против часовой стрелки; при нарезании колес с внутренним зацеплением долбяк и нарезаемое колесо должны вращаться в одну сторону.

Для осуществления главного движения заготовка может иметь возвратно-поступательное перемещение относительно долбяка или, наоборот, долбяк должен перемещаться относительно заготовки. Поскольку долбяк легче и меньше заготовки, то предпочитают перемещать его. Кроме того, когда главное движение совершает долбяк, улучшаются условия наблюдения за процессом. Долбяк движется возвратно-поступательно в направлении стрелки *А* (см. рис. 55); он режет металл, когда опускается, и должен отходить от заготовки, когда поднимается вверх, совершая холостое движение. Для движения подачи долбяк должен обкатываться (огибать) по неподвижной заготовке или нарезаемое колесо должно обкатываться по долбяку. И в первом, и во втором случаях кинематика и конструкция станка получились бы сложными; чтобы упростить их, движение подачи осуществляют, сообщая вращательное движение и долбяку, и нарезаемому колесу в направлении стрелок *В* и *С* (см. рис. 55), вращая их так, как будто бы в зацеплении находятся два зубчатых колеса, где одно является долбяком, а другое нарезаемым колесом. При этом долбяк и заготовка должны быть связаны жесткой кинематической цепью. В кинематические цепи, задающие вращение долбяку и заготовке, включают реверсивные устройства.

Во время обратного холостого хода долбяк, поднимаясь, не срезает металл, однако долбяк и заготовка вращаются, и долбяк упирается в обрабатываемую заготовку, поэтому заготовку отодвигают от долбяка в направлении стрелки *Д* или, наоборот, долбяк отвозят от за-

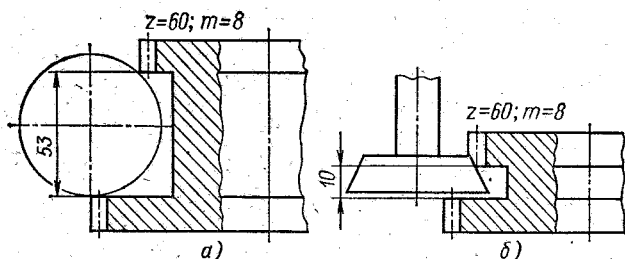


Рис. 56. Минимальный выход инструмента при нарезании блочных колес:

*а* — червячной фрезой; *б* — долбяком

зубчатыми венцами для выхода фрезы необходимо увеличить, как это показано на рис. 56, *а*. При нарезании зубьев долбяком расстояние для выхода инструмента существенно меньше (рис. 56, *б*). На этих станках при наличии специальных долбяков по методу огибания можно нарезать короткие шлицевые валы (рис. 55, *д*), шлицевые отверстия (рис. 55, *е*); зубья конической коронной шестерни (рис. 55, *ж*), а также детали других профилей.

**Движения.** При нарезании долбяком колеса наружного зацепления, долбяк и нарезаемое колесо должны вращаться в разные стороны, например долбяк по часовой стрелке, а колесо — против часовой стрелки; при нарезании колес с внутренним зацеплением долбяк и нарезаемое колесо должны вращаться в одну сторону.

Для осуществления главного движения заготовка может иметь возвратно-поступательное перемещение относительно долбяка или, наоборот, долбяк должен перемещаться относительно заготовки. Поскольку долбяк легче и меньше заготовки, то предпочитают перемещать его. Кроме того, когда главное движение совершает долбяк, улучшаются условия наблюдения за процессом. Долбяк движется возвратно-поступательно в направлении стрелки *А* (см. рис. 55); он режет металл, когда опускается, и должен отходить от заготовки, когда поднимается вверх, совершая холостое движение. Для движения подачи долбяк должен обкатываться (огибать) по неподвижной заготовке или нарезаемое колесо должно обкатываться по долбяку. И в первом, и во втором случаях кинематика и конструкция станка получились бы сложными; чтобы упростить их, движение подачи осуществляют, сообщая вращательное движение и долбяку, и нарезаемому колесу в направлении стрелок *В* и *С* (см. рис. 55), вращая их так, как будто бы в зацеплении находятся два зубчатых колеса, где одно является долбяком, а другое нарезаемым колесом. При этом долбяк и заготовка должны быть связаны жесткой кинематической цепью. В кинематические цепи, задающие вращение долбяку и заготовке, включают реверсивные устройства.

Во время обратного холостого хода долбяк, поднимаясь, не срезает металл, однако долбяк и заготовка вращаются, и долбяк упирается в обрабатываемую заготовку, поэтому заготовку отодвигают от долбяка в направлении стрелки *Д* или, наоборот, долбяк отвозят от за-

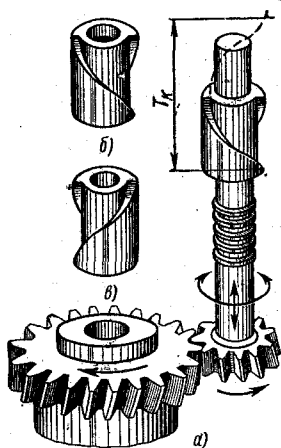


Рис. 57. Схема нарезания долбяком косозубого колеса

готовки; к началу резания долбяк и заготовку сближают.

В начале процесса зубодолбления необходимо еще одно движение, обеспечивающее врезание долбяка в заготовку на полную высоту зуба. Поэтому в начале процесса зубодолбления, кроме указанных выше движений, долбяку сообщают медленное поступательное движение (радиальную подачу) в направлении стрелки *Е*. При этом происходит постепенное сближение долбяка с заготовкой, сопровождающееся врезанием долбяка. После врезания долбяка на полную глубину это движение прекращается. Те несколько зубьев колеса, которые долбяк нарезал с начала и до конца врезания, обработаны частично. Чтобы полностью обработать все зубья, колесо должно повернуться на один полный оборот.

**Изготовление косозубых колес.** Косозубые колеса нарезают на зубодолбежных станках косозубыми долбяками; при этом угол наклона зубьев долбяка должен быть равен углу наклона зубьев нарезаемого колеса, а направления их зубьев должны быть разноименными: правозаходные колеса должны обрабатываться левозаходными долбяками, а левозаходные — правозаходными. Так как из двух косозубых колес, находящихся в зацеплении, одно должно быть правозаходное, а другое — левозаходное, то и долбяки для нарезания косозубых колес изготавливают по два в комплекте.

При нарезании прямозубых колес долбяк совершает возвратно-поступательное движение и медленное вращательное движение подачи. При нарезании косозубых колес, кроме этих двух движений долбяк должен дополнительно поворачиваться (рис. 57, а). Представим, что зубья долбяка введены в зацепление с зубьями неподвижного косозубого колеса. Перемещение долбяка вдоль оси, например, вниз должно сопровождаться дополнительным поворотом в одну сторону, а перемещение долбяка вверх — в другую. Этот дополнительный поворот и должен совершать долбяк при нарезании косозубых колес. Его задают долбяку винтовыми направляющими (рис. 57, б и в). Одну из них (рис. 57, б) крепят жестко к шпинделю долбяка, а другую (рис. 57, в) — к червячному колесу, сообщаящему долбяку медленное вращательное движение подачи. Недостатком этого способа нарезания косозубых колес является то, что с изменением угла наклона зубьев колеса меняется шаг спирали  $T_k$ , поэтому как винтовые направляющие, так и долбяки необходимо менять.

Расчетные перемещения для нарезания прямозубых и косозубых колес одни и те же.

## 2. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ МОД. 5140 И 5122

Зубодолбежный полуавтомат мод. 5140 является представителем новой гаммы зубодолбежных станков 5121, 5122 и 5140. Поэтому вначале кратко расскажем о станках 5121 и 5122, а подробно о станке мод. 5140.

Зубодолбежный полуавтомат повышенной точности 5121 разработан в ЭНИМСе. Краткая техническая характеристика станка 5121: диаметр нарезаемых колес 200 мм; модуль нарезаемых колес 1 — 4 — 5 мм; ширина нарезаемого зуба 50 мм; пределы чисел двойных ходов долбяка 125 — 720 дв. ход/мин; пределы круговых подач долбяка на двойной ход 0,09 — 0,47 мм; диаметр долбяка 75 мм; ход стола 295 мм. Полуавтомат гидрофицирован.

Для установки межцентрового расстояния стол перемещают по плоским горизонтальным направляющим станины. Радиальное врезание на глубину осуществляют круговым кулачком, вращающимся от главного привода. Величину радиальной подачи обеспечивают сменными зубчатыми колесами гитары радиального врезания. Повышенная жесткость главного привода штосселя, стойки и стола позволяют нарезать зубчатые колеса на повышенных режимах резания. Высокая степень автоматизации при наличии загрузочно-разгрузочных устройств позволяет встраивать полуавтомат в автоматические линии.

Зубодолбежный полуавтомат 5122 (рис. 58) предназначен для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колес внутреннего и наружного зацеплений дисковыми модульными долбяками в условиях крупносерийного и массового производства. На станке можно производить черновое, получистовое и чистовое зубонарезание в один, два и три рабочих хода, совершаемых автоматически за один цикл. Станина станка 1 и стойка 6 имеют ребра жесткости. Стол 2 станка, несущий заготовку 3, покоится на широких плоских направляющих. В суппорте 5 расположен долбяк 4. Цикл работы станка автоматизирован. После установки и закрепления заготовки колеса оно полностью обрабатывается. После нарезания зубьев станок автоматически выключается и стол с нарезанным колесом выводится на быстром ходу для снятия обработанного колеса и установки следующей заготовки. При нарезании колес с внутренним зацеплением предусмотрен вывод долбяка в верхнее положение. Заготовка зажимается с помощью гидравлического цилиндра. В процессе нарезания зубьев переход с радиальной на круговую подачу и изменение величины круговой подачи происходят автоматически. Станок может быть оборудован загрузочным устройством и работать как автомат.

Краткая техническая характеристика станка 5122: диаметры нарезаемых колес 30 — 250 мм; модули нарезаемых колес 1 — 6 мм; наибольшая ширина нарезаемого зуба 50 мм; число двойных ходов долбяка 190 — 590 дв. ход/мин; круговые подачи долбяка на двойной ход 0,10 — 0,52 мм; радиальные подачи долбяка на двойной ход 0,024 — 0,12 мм; расчетный диаметр долбяка 100 мм.

Зубодолбежный полуавтомат мод. 5140 (рис. 59) является представителем новой гаммы зубодолбежных станков. Жесткая стойка 6



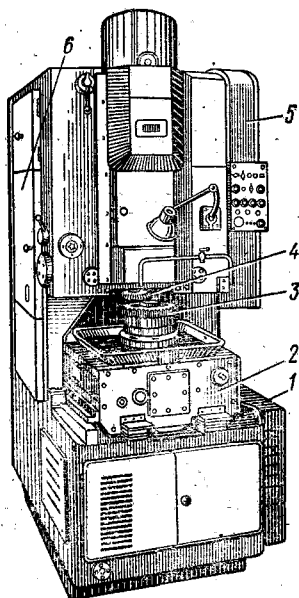


Рис. 58. Зубодолбежный полуавтомат мод. 5122

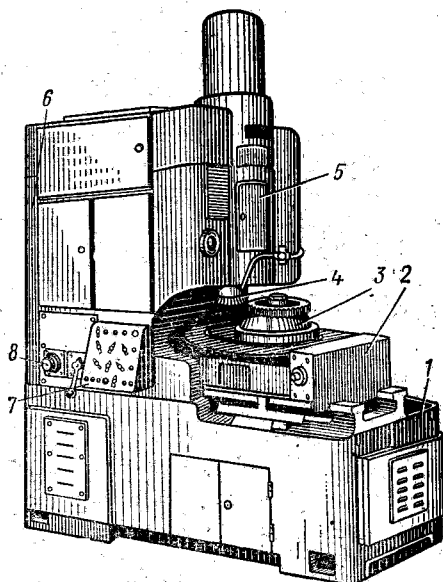


Рис. 59. Зубодолбежный полуавтомат мод. 5140

соединена со станиной 1, по горизонтальным направляющим которой перемещается стол 2, несущий нарезаемое колесо 3. В суппорте 5 расположен долбяк 4, совершающий возвратно-поступательное движение и отскок при обратном ходе на величину 0,45 мм. В станках 5А12, 5В12, 5М12 такой отскок совершает деталь. Станок гидрофицирован и управляется с помощью панели 7. Скорость врезания изменяется дросселем 8.

Кинематическая схема зубодолбежного полуавтомата 5140 дана на рис. 60. Краткая техническая характеристика станка 5140: диаметр нарезаемых колес 500 мм; нарезаемый модуль 8 мм; ширина нарезаемого зуба 100 мм. Долбяк движется возвратно-поступательно от электродвигателя  $M$  ( $N = 2,8$  кВт,  $n = 1460$  об/мин).

**Механизм главного движения.** Кинематическая цепь, определяющая число двойных ходов долбяка; вал электродвигателя 1, ременная передача  $\frac{100}{140}$ , вал II, двухскоростная коробка с передаточным отношением  $i_1$ , вал III, передача  $\frac{39}{49}$ , вал IV, трехскоростная коробка с передаточным отношением  $i_2$ , вал V, двухскоростная коробка с передаточным отношением  $i_3$ , вал VI, ременная передача  $\frac{180}{350}$ , вал XXI — долбяк.

Расчетное уравнение для определения числа двойных ходов долбяка в минуту будет

$$1460 \frac{100}{140} 0,985 i_1 \frac{39}{49} i_2 i_3 \frac{180}{350} = n,$$

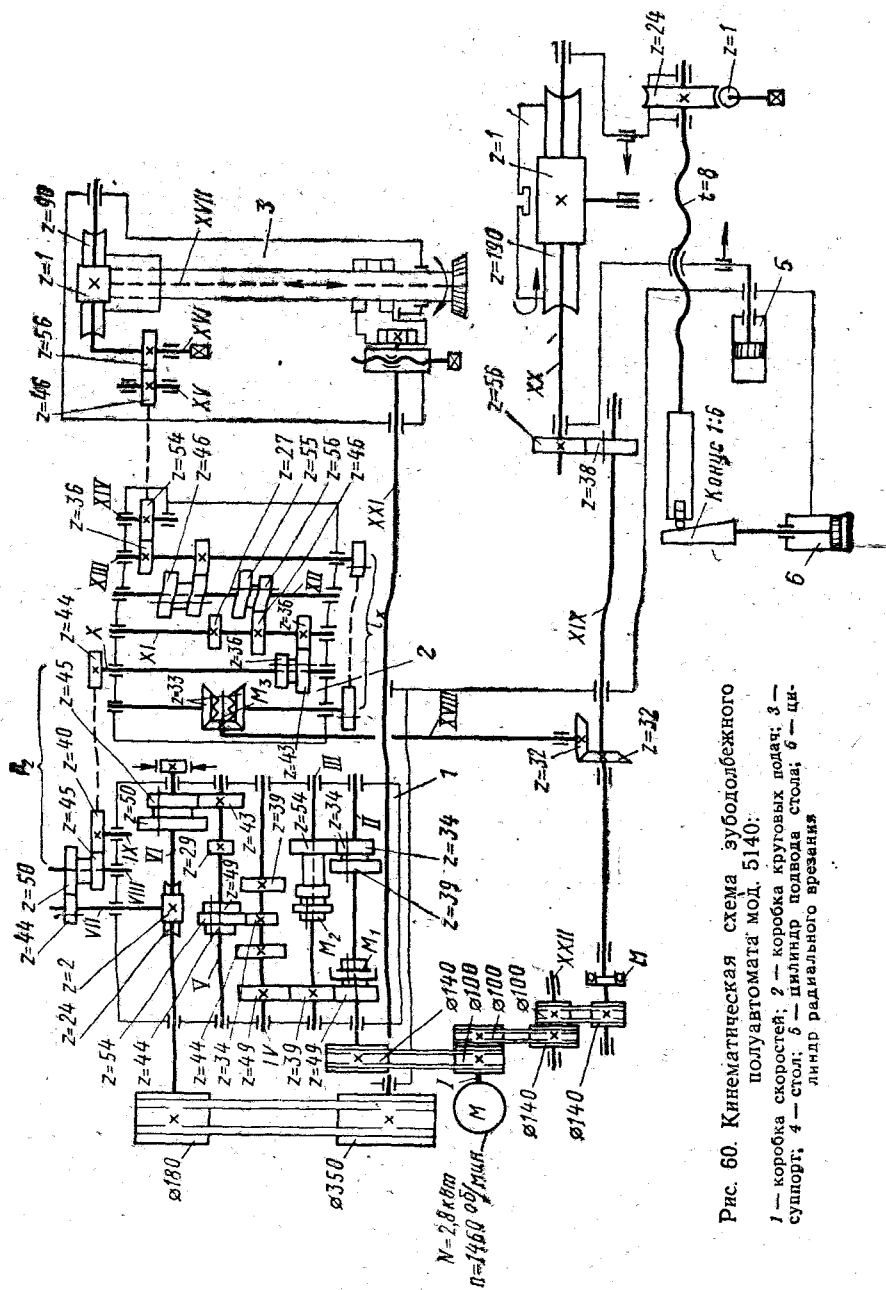


Рис. 60. Кинематическая схема зубодолбежного полуавтомата мод. 5140:

1 — коробка скоростей; 2 — коробка круговых подач; 3 — суппорт; 4 — стол; 5 — цилиндр повода стола; 6 — цилиндр радиального врезания

где 0,985 — коэффициент скольжения ремня;  $i_1$  может быть  $\frac{34}{54}$  или  $\frac{39}{49}$ ;  $i_2$  может быть  $\frac{44}{44}$   $\frac{34}{54}$  или  $\frac{39}{49}$ ;  $i_3$  может быть  $\frac{29}{50}$  или  $\frac{43}{45}$ .

Таким образом, число двойных ходов долбяка в минуту устанавливают с помощью трех подвижных блоков колес и двух муфт  $M_1$  и  $M_2$  в диапазоне от 80 до 500.

**Делительное (огибание) движение.** Долбяк и его шпиндель на всех зубодолбежных станках должны иметь частоту вращения, равную  $\frac{1}{z_d}$ , за время, в течение которого стол с нарезаемым колесом вращается со скоростью  $\frac{1}{z_n}$ , где  $z_d$  — число зубьев долбяка,  $z_n$  — число зубьев нарезаемого колеса. Долбяк и стол должны быть связаны жесткой кинематической цепью.

Принимая условно шпиндель долбяка ведущим, а вращающийся стол ведомым, проследим эту кинематическую цепь: долбяк, червячная передача  $\frac{90}{1}$ , вал XVI, передача  $\frac{56}{46}$ , вал XV, передача  $\frac{46}{54}$ , вал XIV, передача  $\frac{54}{36}$ , вал XIII, сменные колеса гитары деления  $i_x$ , конические колеса  $\frac{33}{33}$ , вал XVIII, конические колеса  $\frac{32}{32}$ , вал XIX, колеса  $\frac{38}{56}$ , вал XX, червячная передача стола  $\frac{1}{190}$ .

Угловые перемещения долбяка и нарезаемого колеса и являются расчетными и записываются так:  $\frac{1}{z_d}$  об. долбяка  $\rightarrow \frac{1}{z_n}$  об. нарезаемого колеса.

Уравнение перемещений

$$\frac{1}{z_d} \frac{90}{1} \frac{56}{46} \frac{46}{54} \frac{54}{36} i_x \frac{33}{33} \frac{32}{32} \frac{38}{56} \frac{1}{190} = \frac{1}{z_n},$$

откуда  $i_x = \frac{ac}{bd} = \frac{2z_d}{z_n}.$

По этой формуле определяют передаточное отношение сменных колес гитары деления и подбирают необходимые колеса.

**Круговая подача.** Круговая подача  $s$ , или величина перемещения долбяка по начальной окружности за двойной ход, составляет расчетные перемещения, которые можно записать

$$1 \text{ дв. ход} \rightarrow s \text{ мм.}$$

Проследим по кинематической схеме станка передачу движений, обеспечивающих заданную подачу: вал XXI, ременная передача  $\frac{350}{180}$ , вал VI, червячная передача  $\frac{2}{24}$ , вал VII, колеса  $\frac{44}{50}$ , вал VIII, колеса  $\frac{45}{40}$ , вал IX, колеса  $\frac{40}{44}$ , вал X, двухскоростная коробка подач  $i_1$ ; вал XI, двухскоростная коробка подач  $i_2$ , вал XII, двухскоростная коробка

подача  $i_3$ , вал *XIII*, передача  $\frac{36}{54}$ , вал *XIV*, передача  $\frac{54}{46}$ , вал *XV*, передача  $\frac{46}{56}$ , вал *XVI*, червячная передача  $\frac{1}{90}$ , штоссель *XVII*, долбяк.

Уравнение перемещений

$$1 \frac{350}{180} \frac{2}{24} \frac{44}{50} \frac{45}{40} \frac{40}{44} i_1 i_2 i_3 \frac{36}{54} \frac{54}{46} \frac{46}{56} \frac{1}{90} \pi d_d = s,$$

где  $i_1$  может быть  $\frac{46}{36}$  или  $\frac{36}{46}$ ;  $i_2$  может быть  $\frac{46}{36}$  или  $\frac{27}{55}$ ;  $i_3$  может быть  $\frac{41}{41}$  или  $\frac{46}{36}$ ;  $d_d$  — диаметр начальной окружности долбяка, мм.

Таким образом, круговую подачу устанавливают с помощью трех подвижных блоков колес в диапазоне от 0,15 до 0,75 мм при диаметре долбяка, равном 100 мм.

**Радиальная подача стола.** Радиальную подачу при врезании устанавливают дросселем 7 (см. рис. 59), шкала которого показывает минутную подачу 5 мин, которую можно регулировать бесступенчато в пределах 0,02 — 0,1 мм на двойной ход долбяка. Число проходов и глубину врезания устанавливают кулачками, расположенными на вадней стенке станка.

**Цикл работы станка.** После установки и зажатия заготовки при нажатии кнопки «Пуск» начинается работа станка. При однопроходном цикле обработки стол с заготовкой ускоренно перемещается к долбяку до упора; при этом стол гидравлическим цилиндром прижат к клиновой ползушке. При упоре стола в ползушку срабатывает гидроклапан выдержки времени, который дает команду на включение радиального врезания. Радиальное врезание происходит со скоростью, установленной дросселем, до тех пор, пока не нажмет на путевой переключатель конца врезания и даст команду на переключение подачи и включение счетчика. Начинается процесс зубонарезания, стол совершает один оборот. После полного оборота стола срабатывает счетчик и дает команду на ускоренный отвод клина радиального врезания в исходное положение; счетчик выключается. В исходном положении клин радиального врезания даст команду на ускоренный отвод стола на загрузочную позицию; нарезанное колесо снимают, устанавливают заготовку, и цикл повторяется.

При двух- и трехпроходных циклах обработки устанавливают определенное число упоров глубины врезания; на специальном барабане управления имеются переключатели скорости и круговых подач. После закрепления заготовки и пуска станка работа протекает, как и при однопроходном цикле. После первого оборота стола подача переключается и врезание происходит до упора кулачка, установленного на барабане, а путевой переключатель, который, срабатывая, включает счетчик и отключает радиальную подачу.

Зубодолбежный полуавтомат мод. 5140 имеет механизм (рис. 61) для точного отсчета полного оборота стола (заготовки). Он связан жесткой кинематической цепью со столом станка определенной зависимостью. За то время, когда стол станка сделает один оборот, фикси-

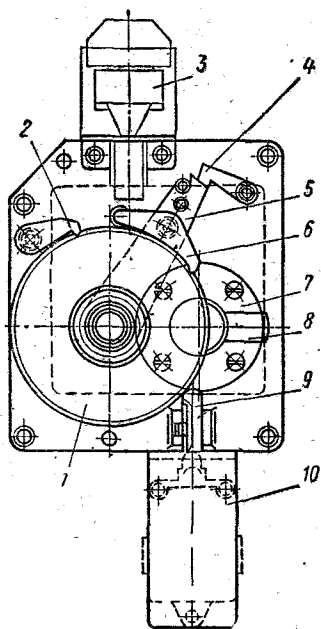


Рис. 61. Счетный механизм станка мод. 5140

бачкой 4. При неполных оборотах стола, например, при нарезании зубчатых секторов применяют упор 8, устанавливаемый на диске 7 по заданному углу.

**Ускоренное вращение стола.** Оно необходимо для проверки бие-ния заготовки и осуществляется по следующей кинематической цепи через муфту обгона М:

$$n_{\text{ст}} = 1460 \frac{100}{140} \frac{100}{140} \frac{38}{36} \frac{1}{190} = 2,6 \text{ обмин,}$$

где  $n_{\text{ст}}$  — ускоренная частота вращения стола.

### 3. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОЛЕС С ШЕВРОННЫМ ЗУБОМ

Шевронные колеса нарезают на зубодолбежных станках двумя попеременно работающими косозубыми долбьяками. Вследствие этого на таких станках можно нарезать шевронные колеса без так называемой средней канавки. На колесах без средней канавки правозаходная часть шевронного зуба является продолжением левозаходной части (рис. 62). Оси двух долбьяков, установленных на станке, параллельны горизонтальной оси обрабатываемого шевронного колеса.

Шевронные колеса являются косозубыми колесами, у которых одна половина шеврона представляет собой колесо с правозаходными зубья-

рующий диск 7 счетчика делает также один оборот. Счетный механизм приводится в движение от стола станка. При нарезании заготовки с любым числом зубьев кулачок, приводящий в движение счетный механизм, делает  $\frac{190}{1} \frac{56}{38} = 280$  оборотов; при одном обороте кулачка рычаг 5 делает одно качание и собачкой 6 повернет храповое колесо 1 на  $\frac{1}{140}$  оборота (храповое колесо имеет 140 зубьев); далее движение передается через передачу  $\frac{1}{2}$  на фиксирующий диск 7, т. е. за два оборота храпового колеса диск 7 совершает один оборот, или один оборот диска 7 равен одному обороту стола  $\frac{190}{1} \frac{56}{38} \frac{1}{140} \frac{1}{2}$ .

Один оборот диска 7 отсчитывается с помощью фиксатора 9 и путевого переключателя 10. Собачка 2 фиксирует храповое колесо 1. Счетчик выключается при врезании электромагнитом 3, отводящим собачку 6 от храпового колеса 1; при быстром вращении стола счетчик отключают собачкой 4.

ми, другая — с левозаходными, поэтому при нарезании таких колес один из долбяков должен иметь зубья правого направления, а другой — левого. Правозаходную часть шевронных зубьев нарезают левозаходным долбяком, а левозаходную — правозаходным. При нарезании шевронных зубьев долбяк и заготовка совершают те же движения, что и на станке 5140; при этом дополнительный поворот долбяка сообщается направляющими (рис. 63). Кроме того, в начале цикла работы должно также совершаться движение врезания (рис. 64).

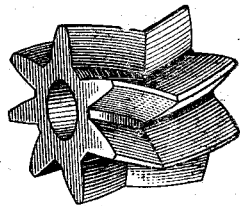


Рис. 62. Шевронное колесо

Когда долбяки совершают возвратно-поступательное движение, то один из них обрабатывает заготовку, а другой в это время движется обратно, совершая холостой ход. При наладке станка возвратно-поступательное движение долбяков должно быть отрегулировано так, чтобы плоскость, в которой заканчивается резание один долбяк, совпала с плоскостью, в которой заканчивается резание другой долбяк.

В горизонтальном зубодолбежном станке (рис. 65) вращательные движения долбяков 5 и нарезаемого колеса 1 связаны кинематической цепью, обеспечивающей их согласованные вращения через сменные зубчатые колеса. Долбяки получают дополнительные повороты от копиров 2. Долбяки 5 движутся возвратно-поступательно от кривошипной передачи 3 салазками 4. На крупных станках этого типа нарезают колеса диаметром до 8000 мм, а также прямозубые колеса. Настройка таких станков подобна настройке зубодолбежного станка 5140.

На станине 1 станка 5173 (рис. 66) размещены направляющие и шпиндели долбяков 2. Нарезаемое колесо одним концом скреплено со шпинделем передней бабки 3; другой его конец поддерживается задней бабкой. Вращательное движение передается на шпиндель станка с помощью червячной передачи 4.

Зубодолбежные горизонтальные станки 5171 и 5173, работающие двумя долбяками, предназначены для нарезания шевронных колес со средней выточкой и без нее, а также для нарезания прямозубых и косозубых колес с внутренним зацеплением и колес, изготавливаемых заодно с валом. На станке 5171 можно нарезать колеса модулем до 10 мм, диаметром до 800 мм и шириной до 200 мм; на станке 5173 нарезают колеса модулем 24 мм, диаметром до 3200 мм и шириной до 900 мм.

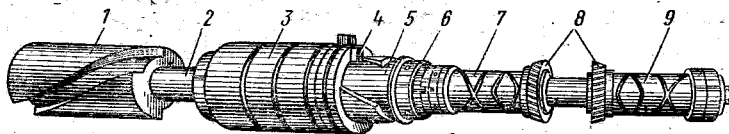


Рис. 63. Направляющие и шпиндель долбяков:

1 — внешняя направляющая; 2 — соединительный вал; 3 — бронзовая направляющая втулка; 4 — башмак; 5 — внутренняя направляющая; 6 — дифференциальная гайка; 7 — шпиндель левого долбяка; 8 — долбяк; 9 — шпиндель правого долбяка

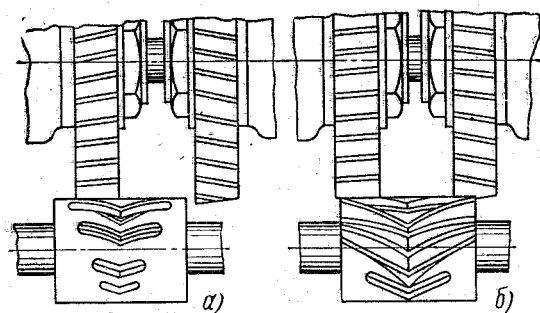


Рис. 64. Схема нарезания шевронных колес двумя долбяками:

*а* — начало врезания; *б* — конец врезания

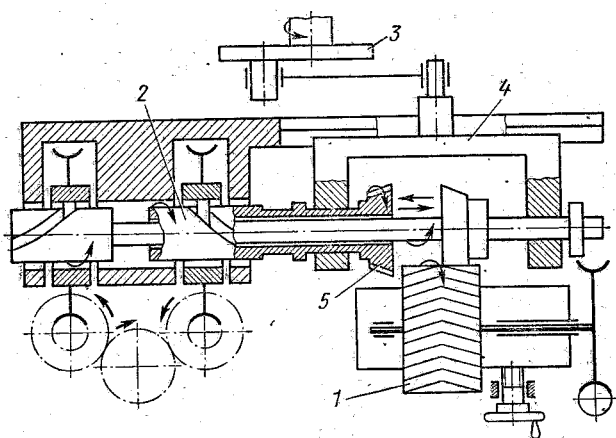


Рис. 65. Принципиальная схема горизонтального зубодолбежного станка

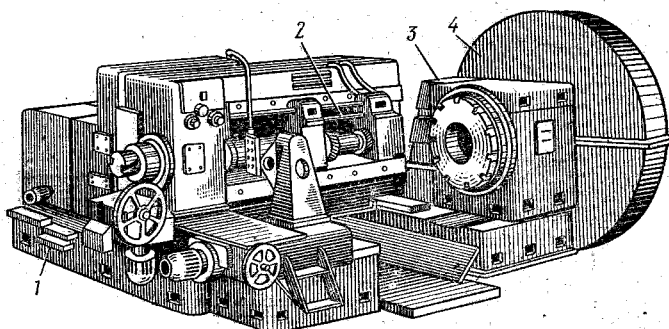


Рис. 66. Горизонтальный зубодолбежный станок мод. 5173

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ

### 1. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА

Повышение производительности процесса нарезания зубчатых колес достигается различными путями, например: применением новых марок быстрорежущих инструментальных сталей и твердых сплавов для изготовления инструмента; совершенствованием конструкций и геометрии инструмента; применением рациональных параметров зубонарезания; совершенствованием конструкций станков; автоматизацией зажимных операций, автоматизацией цикла работы станка и др.

За последнее время для изготовления зуборезного инструмента все более широкое применение находят марки быстрорежущих инструментальных сталей на вольфрамо-кобальто-ванадиево-молибденовой основе, такие, как Р9К10, Р9Ф5, Р10К5Ф5, Р14Ф4, Р18К5Ф2, Р9М4К8, обладающие повышенной по сравнению со сталью Р18 красностойкостью и износостойкостью и позволяющие существенно повысить режимы резания. Следует отметить и такие марки быстрорежущих сталей, как Р6М3, Р6М5, которые обладают примерно такими же режущими свойствами, что и сталь Р18, но содержат значительно меньше дорогостоящего и дефицитного вольфрама.

Применение для изготовления зуборезных инструментов таких марок твердых сплавов, как ВК3М, ВК4, ВК6М, ВК6, ВК8, Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В, ТТ7К12, ТТ10К8В, перспективно, так как эти сплавы обладают повышенной красностойкостью и износостойкостью и позволяют значительно повысить скорость резания и стойкость инструмента. Однако внедрение твердых сплавов для зубонарезания стальных зубчатых колес ограничивается недостаточной прочностью существующих твердых сплавов, высокой трудоемкостью заточки твердосплавных зуборезных инструментов, недостаточной жесткостью, мощностью и быстроходностью зубофрезерных станков. Следует отметить, что при черновом нарезании зубчатых колес из всех зуборезных инструментов достаточно широко применяют дисковые и пальцевые фрезы, оснащенные твердыми сплавами.

Повышения производительности процесса зубофрезерования достигают рациональным выбором как конструктивных, так и геометрических параметров червячных фрез, а именно числа заходов, числа стружечных канавок, диаметра, передних и задних углов, коррекции зубьев по высоте и профилю и др.

Применение многозаходных червячных фрез позволяет сократить машинное время обработки зубчатых колес не обратно пропорционально числу заходов фрезы, а несколько меньше, так как из-за увеличившихся размеров слоев, срезаемых каждым зубом фрезы, приходится несколько снижать подачу по сравнению с однозаходной фрезой.



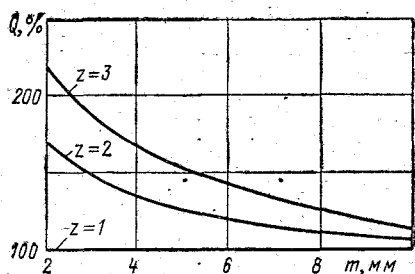


Рис. 67. Повышение производительности зубофрезерования в зависимости от применения многозаходных червячных фрез

На рис. 67 показаны кривые повышения производительности процесса зубонарезания в случае применения многозаходных червячных фрез различных модулей. Производительность зубофрезерования растет при увеличении заходности фрез, при этом в большей степени для малых модулей.

При использовании многозаходной фрезы увеличивается огранка профиля зуба колеса из-за уменьшения числа профилирующих резцов, поэтому для получения требуемой шероховатости поверхности

профиля зуба колеса при применении многозаходной фрезы увеличивают число стружечных канавок, а для сохранения используемой при переточках длины зуба фрезы соответственно увеличивают диаметр фрезы. Правда, увеличение диаметра фрезы при сохранении скорости резания приводит к снижению частоты вращения фрезы и заготовки, а также увеличению пути врезания, что скажется на машинном времени обработки колеса. Однако последнее может быть компенсировано некоторым увеличением подачи в связи с тем, что появляется возможность увеличить жесткость оправки путем увеличения ее диаметра.

На производительность зубонарезания существенно влияет число стружечных канавок червячной фрезы, так как с их увеличением нагрузка на зуб фрезы снижается, что дает возможность повысить подачу. Однако необходимо иметь в виду, что при определенном диаметре фрезы выбор числа стружечных канавок ограничивается прочностью зуба фрезы, числом возможных переточек, величиной заднего угла и размерами впадины между зубьями, достаточными для свободного размещения стружки. Поэтому обычно одновременно с увеличением числа стружечных канавок приходится увеличить и диаметр фрезы. В этом отношении представляет интерес конструкция червячной фрезы «Фетте» (рис. 68), в которой при одинаковом по сравнению со стандартной фрезой диаметре увеличено число стружечных канавок

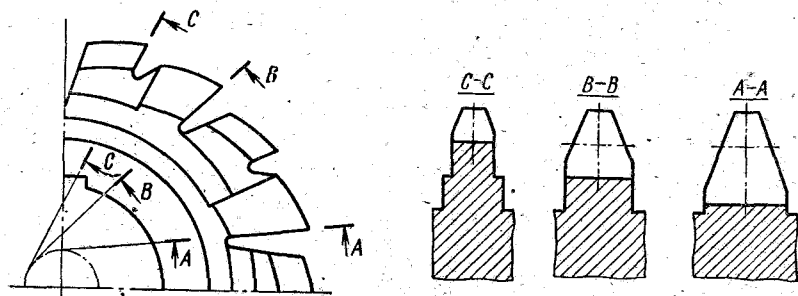


Рис. 68. Червячная модульная фреза «Фетте»

ва счет разной их глубины и удовлетворены все указанные выше требования, кроме числа переточек фрезы. Фреза имеет 20 стружечных канавок, а зубья разделены на пять групп по четыре зуба в каждой группе. Один зуб в группе имеет полную высоту, а три других соответственно  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  и  $\frac{1}{3}$  полной высоты. Режущие кромки зубьев расположены на общей винтовой поверхности, поэтому чтобы не было защемления неполных зубьев участками боковой поверхности, расположенными ниже дна стружечной канавки, эти участки зубьев удаляют (сечения  $C-C$  и  $B-B$ , рис. 68). Фреза предназначена для чернового зубонарезания, поэтому передние углы для улучшения условий резания выполняют положительными, равными  $5^\circ$ .

Для повышения производительности процесса зубонарезания необходимо иметь у зубьев червячной фрезы оптимальную геометрию режущих кромок, т. е. оптимальные передние и задние углы. Однако

Рис. 69. Сборная острозаточенная фреза конструкции ВНИИ

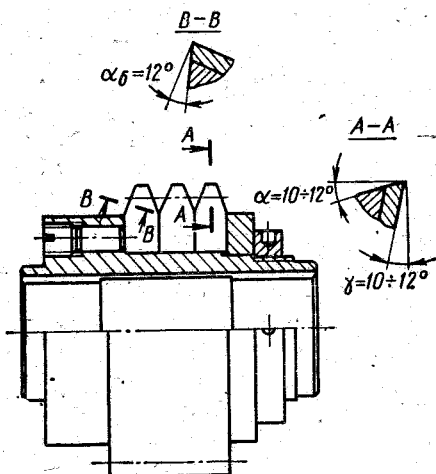
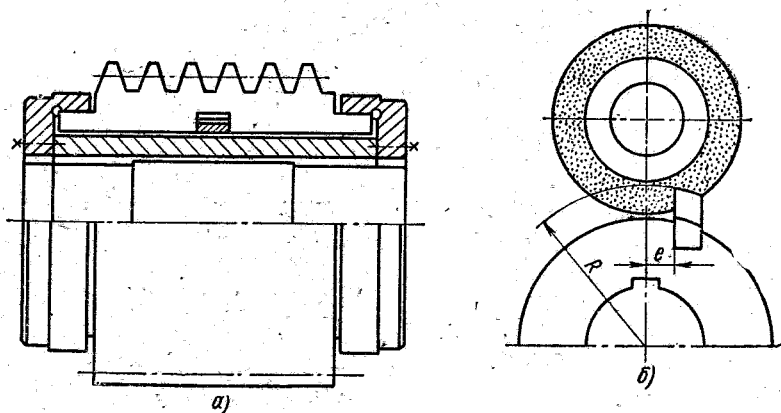


Рис. 70. Сборная незатылованная червячная фреза со вставными рейками:  
а — общий вид; б — схема установки рейки в приспособлении при заточке



за счет разной их глубины и удовлетворены все указанные выше требования, кроме числа переточек фрезы. Фреза имеет 20 стружечных канавок, а зубья разделены на пять групп по четыре зуба в каждой группе. Один зуб в группе имеет полную высоту, а три других соответственно  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  и  $\frac{1}{3}$  полной высоты. Режущие кромки зубьев расположены на общей винтовой поверхности, поэтому чтобы не было защемления неполных зубьев участками боковой поверхности, расположенными ниже дна стружечной канавки, эти участки зубьев удаляют (сечения  $C-C$  и  $B-B$ , рис. 68). Фреза предназначена для чернового зубонарезания, поэтому передние углы для улучшения условий резания выполняют положительными, равными  $5^\circ$ .

Для повышения производительности процесса зубонарезания необходимо иметь у зубьев червячной фрезы оптимальную геометрию режущих кромок, т. е. оптимальные передние и задние углы. Однако

Для повышения производительности процесса зубонарезания необходимо иметь у зубьев червячной фрезы оптимальную геометрию режущих кромок, т. е. оптимальные передние и задние углы. Однако

Рис. 69. Сборная острозаточенная фреза конструкции ВНИИ

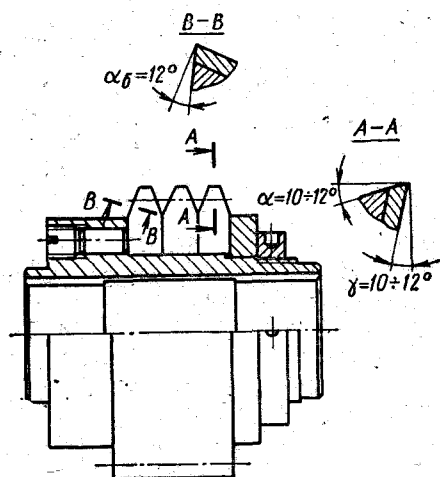
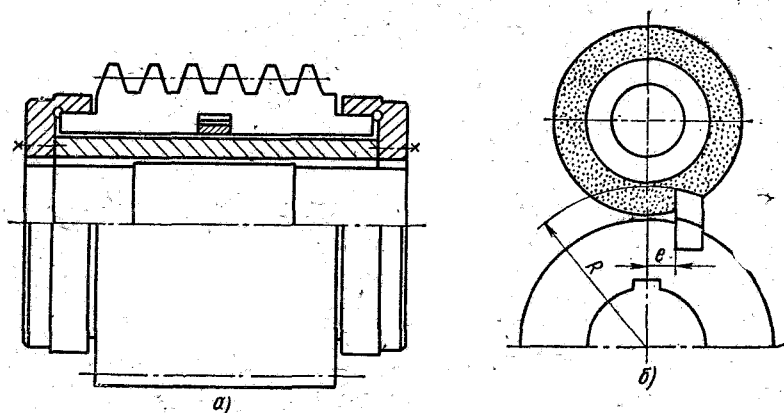


Рис. 70. Сборная незатылованная червячная фреза со вставными рейками: а — общий вид; б — схема установки рейки в приспособлении при заточке



передний угол при вершине зуба червячной фрезы обычно принимают равным  $0^\circ$  и только для черновых фрез его иногда делают положительным. Вызвано это тем, что червячную фрезу затылуют для того, чтобы при переточках по передней поверхности профиль зубьев фрезы сохранялся неизменным; положительный же передний угол усложняет расчет фрезы, ее изготовление, контроль и переточку. В связи с особенностью процесса затылования зубьев червячной фрезы задние углы при вершине зуба выбирают порядка  $10 - 12^\circ$ , в результате чего на боковых сторонах зуба задние углы получаются равными  $2 - 3^\circ$ , что недостаточно для обеспечения благоприятных условий резания. Задача увеличения задних углов на режущих кромках зубьев червячной фрезы решается различным образом. Например, в сборной острозаточенной червячной фрезе конструкции ВНИИ (рис. 69) зубья не затылуются, а каждый в отдельности зуб затачивают так, чтобы задние углы на вершине и боковых сторонах зубьев были равны  $10 - 15^\circ$ . В сборной незатылованной червячной фрезе со вставными рейками (рис. 70) большие по сравнению со стандартными фрезами задние углы получают обычным шлифованием (вместо затылования) реек на резьбошлифовальных станках. Для этого рейки устанавливают либо в специальном приспособлении со смещением передней поверхности рейки на величину  $e$  относительно оси фрезы (рис. 70, б), либо в корпусе фрезы (рис. 71) путем поворота рейки на  $180^\circ$  (пунктиром показана рейка в повернутом для шлифования положении).

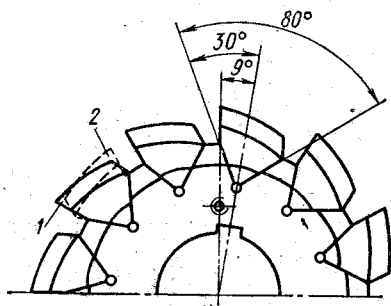
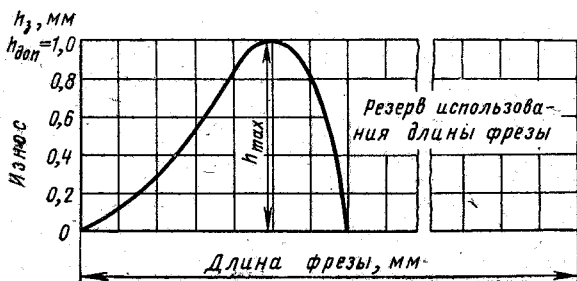


Рис. 71. Схема установки рейки в трапециевидном пазу корпуса червячной фрезы:

1 — в рабочем положении; 2 — при заточке

Рис. 72. Кривая износа зубьев червячной фрезы



## 2. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Известно, что зубья червячной фрезы в процессе работы изнашиваются неодинаково из-за неравномерной их загрузки по толщине, длине и форме среза. Характерная кривая износа зубьев червячной фрезы приведена на рис. 72. По вертикальной оси отложен износ зубьев  $h_a$ , а по горизонтальной—величина используемой фрезы. В то время как несколько зубьев, которые в конечном итоге и определяют стойкость фрезы, доведены до допустимого износа, большинство зубьев изношены мало либо совсем не изношены (зубья с номера 16 по 30 вообще не участвовали в резании). Величина слоя металла, снимаемая при переточке по передней поверхности зубьев фрезы, определяется наибольшим износом  $h_{\max}$ . Поэтому понятно, что инструментальный материал расходуется неэкономично, режущие способности всех зубьев фрезы используются нерационально, а режимы резания оказываются заниженными.

Для лучшего использования режущих способностей червячной фрезы и повышения режимов резания принимают различные меры, например перераспределяют нагрузку между зубьями фрезы за счет коррекции части зубьев по высоте (рис. 73), что позволяет применять повышенные подачи при нарезании зубчатых колес. Так как коррекцию фрезы выполняют для определенного числа зубьев колеса и подачи, то фрезу необходимо установить на станке так, чтобы выдержать заданное наименьшее расстояние между осями фрезы и заготовки. Для этого на центральном зубе наносят риску. Такие фрезы являются фрезами постоянной установки. В зависимости от закона, по которому выравнивают нагрузку на зубьях фрезы, вершины зубьев после корригирования располагаются на различных криволинейных поверхностях.

Наиболее простым высотным корригированием зубьев червячной фрезы, позволяющим тоже в определенной мере перераспределить нагрузку между зубьями, является расположение части зубьев фрезы на конической поверхности с углом  $\phi$  (рис. 74). Чаще всего такое кор-

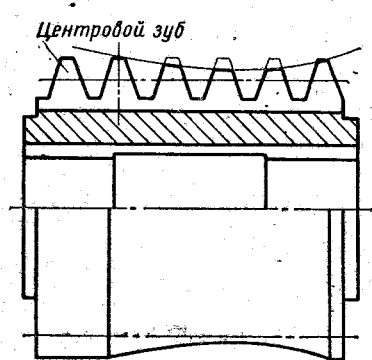


Рис. 73. Корригированная червячная фреза

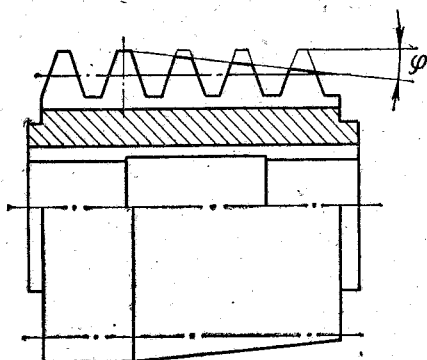


Рис. 74. Червячная фреза с заборным конусом

ригирование выполняют при обработке зубчатых колес значительных диаметров, когда на первые вступающие в резание зубья фрезы приходится стружка большой толщины.

У наиболее нагруженных по износу зубьев червячной фрезы в работе одновременно участвуют обе боковые и вершинная кромки, т. е. срезается стружка П-образной формы, которая неблагоприятно сказывается на износе зуба фрезы. Поэтому для снижения интенсивности износа зубьев фрезы принимают различные меры по изменению формы поперечного сечения среза. Так, например, для получения срезов хотя бы Г-образной формы у зубьев фрезы, следующих один за другим по витку, поочередно подшлифовывают, т. е. избавляют от резания, то левую, то правую боковую режущую кромку.

Хороший эффект дает разделение работы боковых и вершинных кромок зубьев. Для этого у нечетных по витку зубьев фрезы занижают вершину, а у четных зубьев подшлифовывают боковые стороны. В результате нечетные зубья режут только боковыми кромками, а четные — только вершиной, т. е. срезаются стружки наиболее благоприятной формы, что повышает стойкость червячной фрезы, реализовать которую можно повышением режимов резания. Фрезы эти сохраняют свою универсальность.

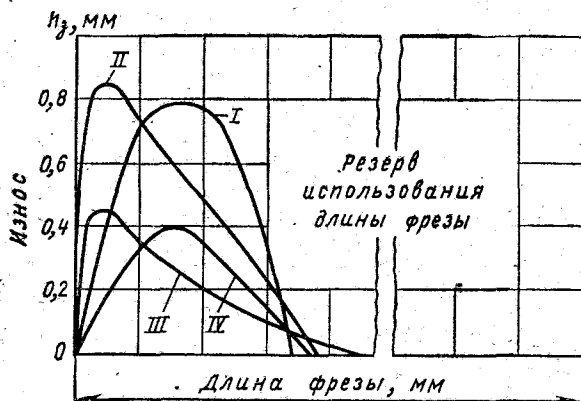
Изготавливают специальные фрезы, у которых в работе участвуют только вершинные режущие кромки, а так как форма у вершинных кромок более благоприятна для резания, чем у боковых (задние углы близки к оптимальным значениям), то стойкость таких фрез выше, что позволяет значительно повысить режимы резания. Правда, такие фрезы являются фрезами постоянной установки.

Значительный резерв повышения производительности нарезания зубчатых колес заложен в правильном выборе таких параметров зубофрезерования, которые рабочий устанавливает непосредственно на станке. К этим параметрам относятся направление вертикальной подачи (попутное или встречное), сочетание направлений витков фрезы и заготовки (одноименное или разноименное направление витков), величина и характер осевых смещений червячной фрезы, режимы резания. Дать станочнику рекомендации по рациональному выбору названных параметров можно, располагая для каждого конкретного случая нарезания зубчатого колеса графиками износа зубьев червячной фрезы, полученными при различном сочетании параметров зубофрезерования. Например, на рис. 75 показан износ зубьев червячной фрезы после нарезания одинакового числа зубчатых колес при четырех различных схемах зубофрезерования.

Нарезали зубчатые колеса из стали 18ХНМА ( $m = 3,75$  мм,  $z = 45$ ,  $\beta_{\text{кол}} = 28^\circ 4' 21''$ ) фрезой  $D_{\text{фр}} = 110$  мм,  $z_{\text{фр}} = 12$ ,  $z = 1$  при вертикальной подаче  $s_v = 1,25$  мм/об. По горизонтальной оси отложены номера зубьев червячной фрезы, а по вертикальной оси их износ после нарезания определенного одинакового для всех схем числа зубчатых колес. При различных схемах зубофрезерования графики износа зубьев червячной фрезы отличаются один от другого характером, абсолютной величиной износа каждого зуба, величиной наибольшего износа  $h_{\text{max}}$ , числом участвовавших в резании зубьев.

Рис. 75. Кривые распределения интенсивности износа по зубьям червячной фрезы (при различных схемах зубофрезерования):

*I* — одноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  встречная; *II* — одноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  попутная; *III* — разноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  встречная; *IV* — разноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  попутная



Имея графики износа зубьев червячной фрезы, можно решить различные задачи. Например, при работе без смещений фрезы вдоль ее оси наиболее рациональным будет, очевидно, такое сочетание параметров зубофрезерования, при котором величина  $h_{\max}$  на графике будет наименьшей. Наименьшее значение  $h_{\max}$  оказалось при работе по схеме *IV* (разноименное направление витков фрезы и зубьев колеса, попутная вертикальная подача).

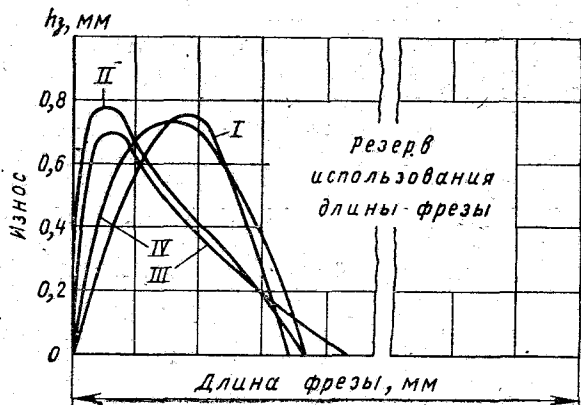
Аналогичные графики распределения износа по зубьям червячной фрезы для случая нарезания зубчатого колеса из стали 38ХС (рис. 76) говорят о примерной равноценности всех четырех схем обработки колеса, так как значения  $h_{\max}$  мало отличаются друг от друга (несколько меньшее значение  $h_{\max}$  оказалось для схемы *III*).

Таким образом, из рис. 75 и 76 видно влияние различных параметров, в том числе и обрабатываемого материала, на выбор рационального варианта нарезания колеса.

Как было указано ранее (см. рис. 72) и видно из графиков износа (см. рис. 75 и 76), не все зубья червячной фрезы участвовали в резании, т. е. режущие способности инструмента оказываются недоисполь-

Рис. 76. Кривые распределения интенсивности износа по зубьям червячной фрезы при различных схемах зубофрезерования:

*I* — одноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  встречная; *II* — одноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  попутная; *III* — разноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  встречная; *IV* — разноименное направление витков фрезы и заготовки, вертикальная подача  $z_v$  попутная



зованы. Повысить коэффициент использования режущих способностей зубьев червячной фрезы можно путем применения осевых смещений червячной фрезы вдоль ее оси. В этом случае рациональная схема зубофрезерования будет определяться не только величиной  $h_{\max}$ , но и величиной и характером осевых смещений червячной фрезы, которые можно выполнять периодически и непрерывно.

Периодические осевые перестановки червячной фрезы можно выполнять различным образом (рис. 77).

1. После нарезания каждой заготовки (пакета) смещаем фрезу вдоль оси на такую величину  $a$ , чтобы при общем смещении на возможную величину  $l$  наибольший износ оказался равным допустимому износу  $h_{\text{доп}}$  (рис. 77, а)

2. Достигаем допустимого износа за несколько повторных смещений (строк) на величину  $l$ , т. е. здесь величина  $a$  назначается большей, чем в предыдущем случае (рис. 77, б).

3. Нарезаем несколько заготовок (пакетов) без осевого смещения фрезы до величины, близкой к допустимому износу, после чего смещаем фрезу на такую величину  $a$ , чтобы при нарезании такого же числа заготовок наибольший износ оказался равным допустимому (рис. 77, в).

На практике, естественно, могут быть использованы комбинации из приведенных вариантов периодических осевых перестановок фрез. Очевидно, наиболее рациональной схемой зубофрезерования в случае

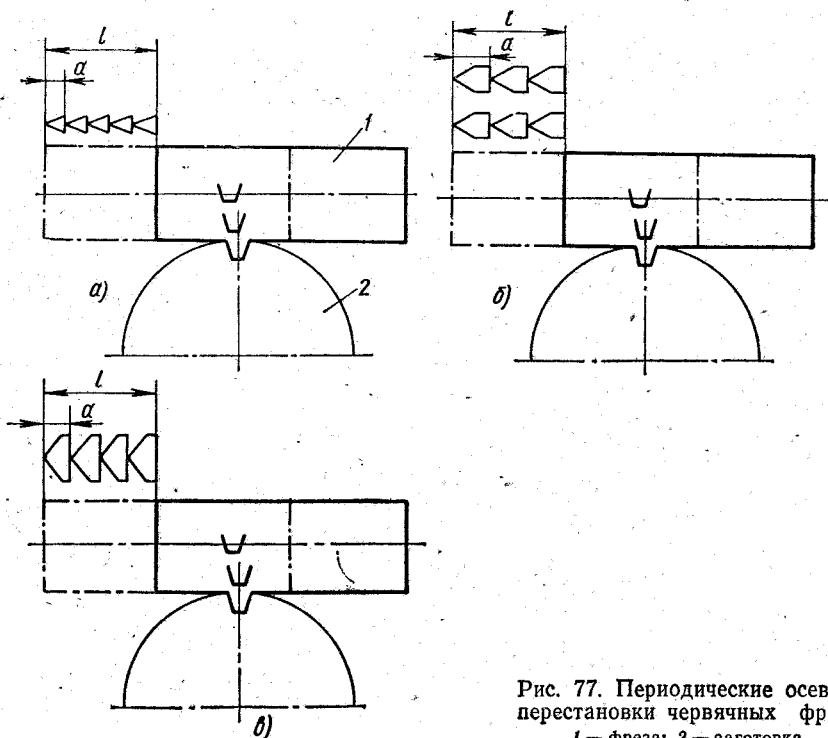


Рис. 77. Периодические осевые перестановки червячных фрез;  
1 — фреза; 2 — заготовка



применения периодических осевых смещений червячной фрезы будет такая схема, при которой за период стойкости фрезы окажется нарезанным большое число колес. Покажем это на примере использования третьего варианта периодических осевых смещений червячной фрезы применительно к графикам износа, изображенным на рис. 75 и 76. Все необходимые данные для сравнения схем зубофрезерования приведены в табл. 9.

Таблица 9

Износ червячных фрез в зависимости от схем фрезерования

Обрабатываемый материал	Схема зубофрезерования	$l_{p.ч}$	$l_{в.к}$	$a$ , мм	$N_0$	$W$	$N$ , шт
18ХН2МА	I	90	33	21	10	2	30
	II		38	31	9	1	18
	III		42	37	18	1	36
	IV		37	24	20	1	40
38ХС	I	90	33	22	11	2	33
	II		38	32	10	1	20
	III		42	39	12	1	24
	IV		37	22	11	1	22

Примечание.  $l_{p.ч}$  — длина режущей части фрезы;  $l_{в.к} = \frac{\pi m}{z_H} n_p$  — длина участка фрезы, участвующего в резании вершинными кромками;  $N_0$  — число зубчатых колес, нарезанных без осевой перестановки фрезы (при этом износ фрезы достигал допустимой величины  $h_{доп} = 0,8$  мм);  $a$  — величина периодической осевой перестановки фрезы;  $W$  — количество периодических осевых перестановок фрезы ( $W = \frac{l_{p.ч} - (l_{в.к} + 0,5l_{обк})}{a}$ , где  $l_{обк}$  — длина зоны обкатки, равная в данном примере 25 мм);  $N$  — число зубчатых колес, нарезанных за период стойкости.

Схемы зубофрезерования между собой сравнивают по величине  $N$ . Оптимальной будет, очевидно, та схема зубофрезерования, для которой величина  $N$  окажется наибольшей. При нарезании зубчатых колес из стали 18ХН2МА наиболее предпочтительной окажется схема IV зубофрезерования (разноименная фреза — заготовка, попутная подача,  $N = 40$ ), а при обработке колес из стали 38ХС — схема I зубофрезерования (одноименные фреза — заготовка, встречная подача,  $N = 33$ ).

Следует отметить, что любое необоснованное назначение величины периодического осевого смещения червячной фрезы приведет либо к недоиспользованию режущих способностей инструмента, либо к его нерациональному интенсивному износу.

Другой возможностью повышения коэффициента использования режущих способностей зубьев червячной фрезы является применение непрерывного осевого смещения фрезы. Существует два метода выполнения этих смещений: 1) малых осевых подач, когда износ червячной фрезы достигает допустимой величины за время одного непрерывного осевого смещения ее на возможную величину (этот метод близок к

первому способу периодических осевых перестановок); 2) крупных осевых подач (диагональное зубофрезерование), когда фреза смещается вдоль своей оси на максимально возможную величину (которая больше, чем в первом случае) при нарезании каждой заготовки (пакета), а затем возвращается в первоначальное положение; величины допустимого износа фреза достигает за несколько таких смещений.

Периодические и непрерывные осевые смещения червячной фрезы позволяют более полно использовать режущие способности всех ее зубьев, повысить стойкость фрезы и, если позволяют условия, реализовать выигрыш по стойкости, повышая режимы резания.

Повышению производительности процесса зубофрезерования способствует создание станков более совершенной конструкции — мощных, жестких, быстроходных, с высокой степенью автоматизации, удобных в обслуживании. Повысить производительность нарезания зубчатых колес можно путем сокращения не только машинного времени, но и вспомогательного. Сделать это можно механизацией зажимных операций, автоматизацией установки, закрепления и снятия заготовки в сочетании с магазинным устройством, автоматизацией цикла обработки заготовки, автоматизацией периодических осевых перестановок фрезы, созданием автоматических линий и др.

### 3. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБОДОЛБЛЕНИЯ

Повышения производительности при нарезании зубчатых колес зубодолблением достигают как совершенствованием конструкций станков, так и самого процесса нарезания колес. Существует много различных путей повышения производительности процесса, а именно, повышение режимов резания за счет применения новых инструментальных материалов для изготовления долбяков, увеличение степени автоматизации станков, применение многошпиндельных зубодолбежных автоматов, долбление без рациональной подачи долбяка, обработка нескольких колес одновременно (пакетом) и ряд др. Приведем несколько примеров.

На рис. 78 показаны высокопроизводительные методы зубодолбления, применяемые в условиях крупносерийного и массового производства. При нарезании колес без радиальной подачи применяют специальный долбяк, у которого число зубьев в 2 раза больше числа зубьев нарезаемого колеса (рис. 78, а). Долбяк 1 имеет выемку для установки и снятия обрабатываемого колеса 2 и участки с черновыми и чистовыми зубьями. Одна половина долбяка производит черновое долбление зубьев, вторая половина — чистовое. Естественно, что толщина черновых зубьев меньше толщины чистовых зубьев на величину удвоенного припуска на чистовое долбление. При черновом зубонарезании зубья нарезаются на полную глубину, следовательно, при чистовом зубонарезании снимается тонкая стружка с боковых поверхностей зуба.

Долбяк, имеющий две выемки, дает возможность нарезать одно зубчатое колесо с малым числом зубьев за половину оборота долбяка (рис. 78, б).

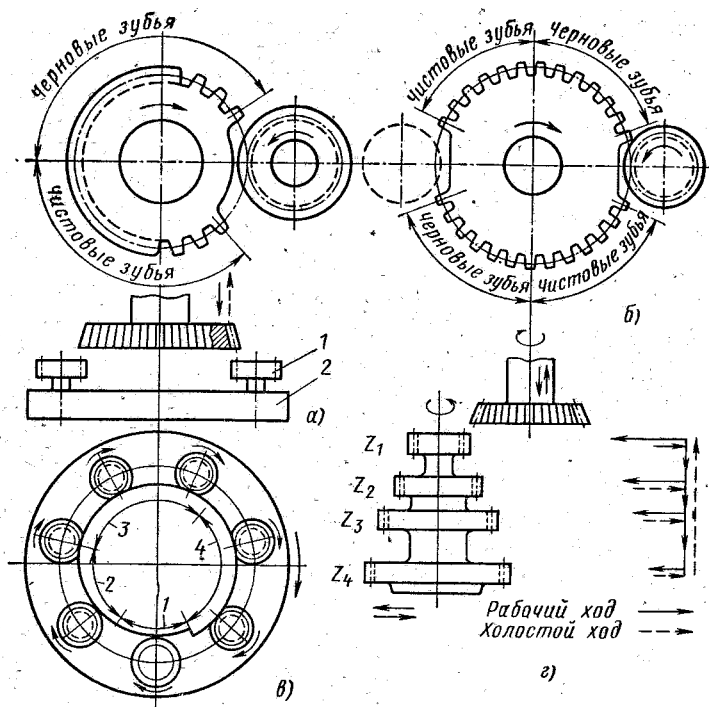


Рис. 78. Высокопроизводительные методы зубодолбления:

а — без радиальной подачи; б — долбяком, имеющим две выемки; в — комбинированным долбяком одновременно нескольких заготовок; 1 — зона установки заготовки; 2 — заходная зона; 3 — черновые зубья; 4 — чистовые зубья нескольких заготовок; г — схема обработки четырехвенцового зубчатого колеса на станке с программным управлением

Рассмотрим схему обработки (рис. 78, в) нескольких заготовок комбинированным долбяком. Стол станка имеет семь шпинделей для нарезаемых зубчатых колес; он вращается непрерывно. Заготовки одновременно вращаются вокруг своих осей. Долбяк имеет участок без зубьев для установки заготовок, заходную часть и участки с черновыми и чистовыми зубьями. Долбяк совершает только возвратно-поступательное движение. Производительность такого станка высокая. Так, например, при нарезании зубчатого колеса модулем  $m = 3$  мм с числом зубьев  $z = 40$  и шириной  $b = 30$  мм основное время долбления составляет 0,85 мин.

Обработка четырехвенцового зубчатого колеса на станке с программным управлением резко сокращает время на установку и снятие заготовок (рис. 78, г). Долбяк, нарезав первый венец, автоматически подводится ко второму, а затем к третьему и четвертому венцам и последовательно нарезает их.

Производительность процесса зубодолбления повышается при увеличении числа режущих кромок инструмента, совмещении черного и чистового нарезания зубьев колес с применением ступенчатого дол-

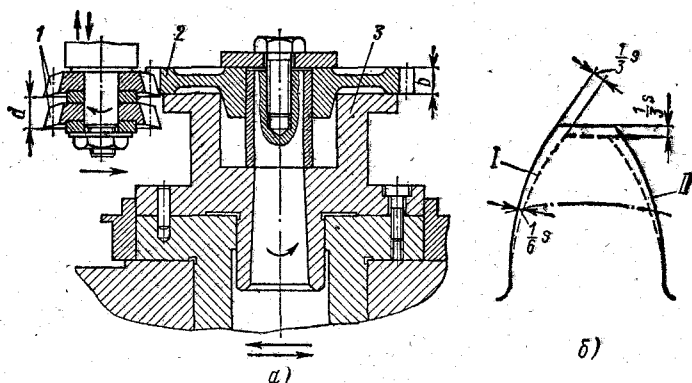


Рис. 79. Нарезание зубчатого колеса двумя долбяками:  
 а — схема; 1 — долбяки; 2 — нарезаемое колесо; 3 — приспособление;  
 б — долбяк; I — черновой; II — чистовой

бяка (рис. 79), состоящего из двух или трех долбяков, установленных на штосселе зубодолбежного станка. Расстояние  $a$  (рис. 79, а) между торцовыми поверхностями долбяков должно быть на 1 — 3 мм больше ширины венца  $b$ . Верхний долбяк служит для окончательного профилирования зубьев колеса; нижний долбяк перешлифовывают так, чтобы ширина и высота зубьев его были меньше ширины и высоты зубьев долбяка, расположенного над ним.

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ

### СПОСОБЫ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

#### 1. МЕТОДЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Нарезание зубьев конических зубчатых колес существенно сложнее, чем цилиндрических колес, так как зубья не параллельны друг другу, глубина и ширина впадин между зубьями колеса постепенно уменьшаются от большого основания конического колеса к меньшему.

В настоящее время широкое применение получили конические зубчатые колеса с прямыми (рис. 80, а), тангенциальными или косыми (рис. 80, б) и круговыми (рис. 80, в) зубьями. В СССР приняты два типа зубьев конических колес: прямые и круговые. Редко применяют конические колеса с тангенциальными зубьями. Конические зубчатые колеса нарезают двумя методами: копированием и обкаткой (огибанием).

**Метод копирования.** Применение метода копирования ограничено. Его применяют при изготовлении сравнительно грубых и, главным образом, прямозубых конических колес, а также при черновом нарезании зубьев конических колес. Это объясняется тем, что кроме труд-

ности точного изготовления режущего инструмента фасонного профиля, необходимо учитывать кривизну профиля зуба, которая неодинакова для различных поперечных сечений зуба. Поэтому приходится довольствоваться грубо приближенным профилем. Этот недостаток в станках, работающих методом копирования по шаблону (рис. 81), сглаживается. Зубья колес с большим модулем обрабатывают строганием по шаблону. Суппорт с резцом 1 совершает возвратно-поступательное движение (главное движение) вдоль направляющей 2. Резцовую бабку 3 подают на заготовку, поворачивая вокруг оси  $I-I$  (движение подачи), при этом ролик 5, прижимаемый к шаблону 6, под действием груза 4 заставляет вершину резца описывать траекторию, соответствующую профилю шаблона.

Зубострогальные станки для нарезания конических зубчатых колес с большим модулем, работающие методом копирования по шаблону, получаются относительно легкими и дешевыми. Примером таких станков может служить зубострогальный станок мод. 5А283.

Метод копирования как высоко производительный находит применение в современных станках в тех случаях, когда профиль зубьев нарезаемого конического колеса прямолинеен или если он, по крайней мере, не меняет своей кривизны.

**Метод обкатки.** Основным и наиболее точным, а также и производительным методом нарезания конических зубчатых колес является метод обкатки. При нарезании конических колес методом обкатки воспроизводят зацепление пары конических зубчатых колес. Так как режущего конического колеса создать нельзя, то при всех расчетах при наладке станков и режущего инструмента применяют производящее зубчатое колесо.

Производящим зубчатым колесом называют такое воображаемое зубчатое колесо, боковые поверхности зубьев которого являются производящими поверхностями. Эти воображаемые поверхности воплощаются в движениях режущих элементов инструмента, которые в относительном движении являются взаимогоибающими с боковыми поверхностями зубьев нарезаемого колеса.

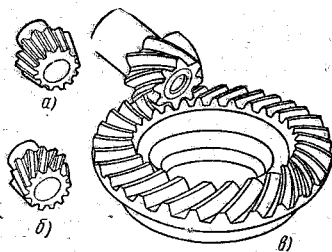


Рис. 80. Типы конических зубчатых колес

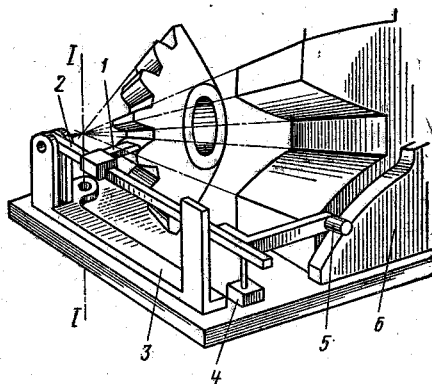


Рис. 81. Нарезание методом строгания прямоугольного конического колеса по копиру

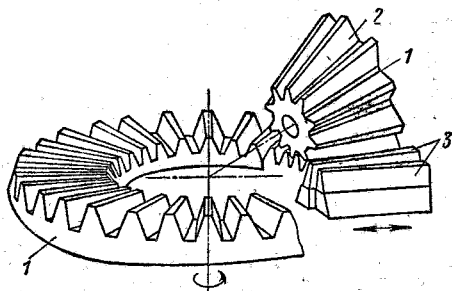


Рис. 82. Зацепление нарезаемого колеса с воображаемым (производящим) колесом

Производящим зубчатым колесом конической передачи является круговая рейка в виде плоского или плосковершинного колеса. Станки, нарезающие зубья конических колес, производят в процессе нарезания режущими кромками инструментов либо две боковые поверхности впадины между двумя соседними зубьями плоского конического производящего колеса, либо зуб этого колеса.

На рис. 82 показана связь между воображаемым коническим колесом 1, нарезаемым колесом 2 и двумя резцами 3, которые представляют на станке воображаемое плоское коническое колесо. Плоским коническим колесом называют коническое колесо, половину угла которого при вершине начального конуса равна  $90^\circ$ .

Пользуясь рис. 83, определим, чему должно быть равно число зубьев плосковершинного производящего колеса. Примем следующие обозначения:  $z_c$  — число зубьев плосковершинного производящего колеса;  $z$  — число зубьев нарезаемого конического колеса;  $d_c$  — диаметр делительной окружности производящего колеса;  $d$  — диаметр делительной окружности нарезаемого колеса;  $m$  — модуль нарезаемого конического зубчатого колеса;  $\delta$  — половина угла начального конуса нарезаемого колеса;  $\theta_f$  — угол ножки зуба нарезаемого колеса;  $R_e$  — длина образующей делительного конуса нарезаемого колеса, она же образующая производящего колеса.

Запишем, что  $d = mz$  и  $d_e = mz$ . Из рис. 83 видно, что

$$\frac{d_c}{2} = R_e \cos \theta_f \text{ и } \frac{d}{2} = R_e \sin \delta,$$

откуда

$$R_e = \frac{d_c}{2 \cos \theta_f}; R_c = \frac{d}{2 \sin \delta}.$$

Так как производящее и нарезаемое колеса имеют одну и ту же величину образующей, то

$$\frac{d_c}{2 \cos \theta_f} = \frac{d}{2 \sin \delta} \text{ и } d_c = d \frac{\cos \theta_f}{\sin \delta},$$

откуда

$$z_c = z \frac{\cos \theta_f}{\sin \delta}$$

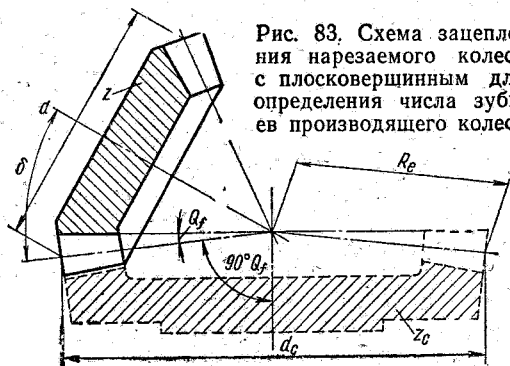


Рис. 83. Схема зацепления нарезаемого колеса с плосковершинным для определения числа зубьев производящего колеса

Число зубьев плоского колеса ввиду малого значения можно определять по формуле

$$z_0 = \frac{z}{\sin \delta}.$$

Коническая передача с числами зубьев  $z_1$  и  $z_2$  должна иметь плосковершинное колесо с числами зубьев, равными

$$z_0 = \frac{z_1}{\sin \delta_1} = \frac{z_2}{\sin \delta_2},$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — половины углов начальных конусов сопряженных конических колес.

Таким образом, для каждой конической передачи существует свое единственное производящее колесо, поэтому зубчатые колеса, спрофилированные определенным производящим колесом, смогут образовывать правильное зацепление только между собой, так как они были рассчитаны согласно размерам плоского (плосковершинного) колеса.

## 2. КОМПОНОВКА СТАНКОВ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

На рис. 84 приведена принципиальная схема компоновки зуборезного станка, работающего методом обкатки. Все необходимые расчеты движений производят так, как будто бы обрабатываемая заготовка 3 находится в зацеплении с воображаемым производящим колесом 2. На станине 1 по направляющим 6 может перемещаться стол 8 с круговыми направляющими 7. На этих направляющих установлена плита 5, которую можно поворачивать на необходимый угол при наладке станка. По направляющим поворотной плиты перемещают бабку 4 с установленной на ней заготовкой.

На рис. 85, а показаны схематично две дисковые фрезы, воспроизводящие зуб производящего колеса. При вращении зубья одной дисковой фрезы входят (с зазором) в промежутки между зубьями другой дисковой фрезы, шпиндели которой вращаются синхронно. На рис. 85, б приведен процесс нарезания конического колеса двумя дисковыми фрезами по методу обкатки. Нарезаемое коническое колесо 1 связано с жесткой кинематической цепью с плоским производящим колесом 2, а фрезы 3 воспроизводят зуб этого колеса. Нарез-

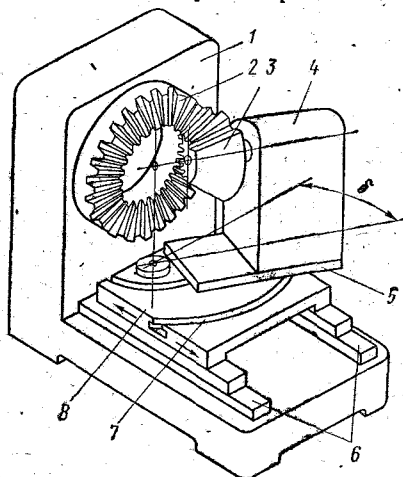


Рис. 84. Схема компоновки зуборезного станка для нарезания конических зубчатых колес методом обкатки

зание колес происходит без подачи фрезы вдоль зуба, поэтому дно впадины имеет слегка вогнутую форму.

Этот способ нарезания отличается высокой производительностью благодаря применению многорезцовых дисковых фрез, допускающих работу с высокими скоростями резания, а также исключает предварительное нарезание зубьев. Способ нарезания конических прямозубых колес дисковыми фрезами производительнее зубострогания в 3 — 5 раз. Способ зубофрезерования находит применение при нарезании конических колес модулем 1 — 8 мм и длиной образующей начального конуса 15 — 160 мм.

Наиболее производительным из всех способов нарезания прямозубых конических колес является способ кругового протягивания при помощи дисковой протяжки, известный под названием метод Ревесайкл.

На рис. 86 приведена схема нарезания прямозубых конических колес круговой протяжкой. Круговым протягиванием называют метод чернового и чистового профилирования впадин на заготовке нарезаемого колеса. Режущий инструмент представляет собой наборную фрезу-протяжку диаметром около 540 мм, состоящую из 15 — 17 блоков по четыре — пять резцов в каждом (рис. 86, а). Первые 10 — 13 блоков — черновые, остальные — чистовые. При нарезании заготовка неподвижна. Фреза-протяжка вращается с постоянной частотой и в то

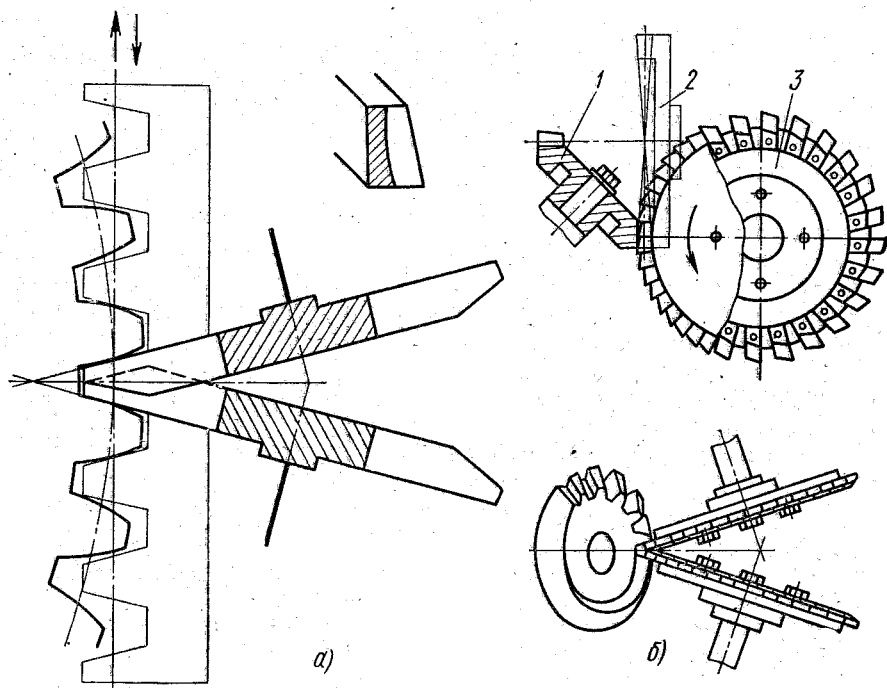


Рис. 85. Схема нарезания прямозубого конического колеса двумя дисковыми фрезами по методу обкатки



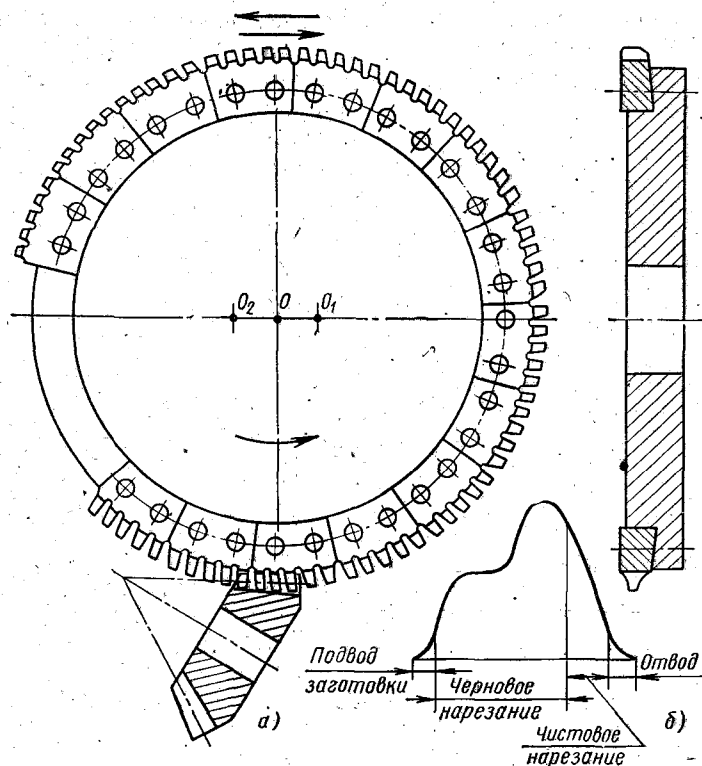


Рис. 86. Схема нарезания прямозубых конических колес методом круговой протяжки (метод Ревесайкл)

же время она получает продольную подачу в одном направлении при черновом нарезании и в обратном направлении — при чистовом нарезании. За один оборот протяжки происходит полная обработка впадины колеса. В тот момент, когда против заготовки окажется часть протяжки, свободная от резцов, происходит делительный поворот нарезаемого колеса на один зуб. После нарезания всех зубьев нарезанное колесо отводится от инструмента в загрузочную позицию.

Формообразование боковой поверхности зубьев прямозубых конических колес осуществляется за счет сочетания вращения режущего инструмента, имеющего различные положения центров кривизны отдельных режущих кромок резцов, и прямолинейного движения инструмента вдоль впадины нарезаемого зуба, так что каждому положению протяжки соответствует вполне определенное положение ее центра на прямолинейной траектории движения.

Прямолинейное движение протяжки, при котором ее ось перемещается из положения  $O_1$  в  $O_2$  и обратно (рис. 86, б), осуществляют при помощи копира (кулачка), совершающего один оборот за оборот протяжки. По горизонтали отложены углы поворота копира, а по вер-

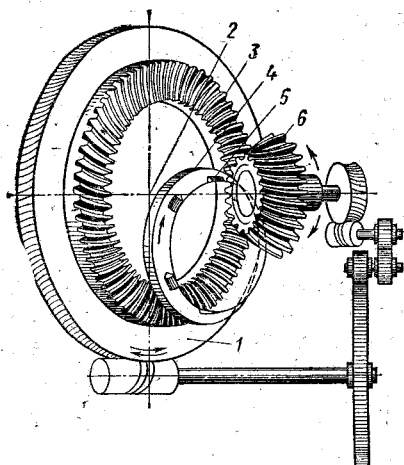


Рис. 87. Схема нарезания конических колес с круговыми зубьями резцовыми головками по методу обкатки

Таблица 10

Технические характеристики зубострогальных и зубофрезерных станков для прямозубых конических колес

Параметр	ЗП23БП	5Г23В	5230	2А250	5282	5А288
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса при наибольшем передаточном отношении 10:1	125	125	320	500	800	1600
Модуль нарезаемого колеса	2,5	2	8	8	16	30
Длина делительного конуса нарезаемого колеса, мм	7—63	0—63	20—150	0—250	105—410	200—800
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	20	15	50	90	150	270
Угол установки бабки нарезаемого колеса, град	0—90	0—90	4—90	4—90	4,5—90	4,5—90
Число зубьев нарезаемого колеса	10—200	12—150	10—100	10—200	10—160	10—300
Диаметр фрезы, мм	—	—	275	—	—	—
Число двойных ходов резцов в минуту	1600—800	210—1050	—	73—470	30—307	17—127
Частота вращения фрезы, об/мин	—	—	25—170	—	—	—
Продолжительность обработки одного зуба за один проход, с	3,5—112	15—56	2,5—76	4—123	9500	—
Мощность главного электродвигателя, кВт	1,0	0,6	2,8	3	7,5	7
Габариты станка (длина и ширина), мм	1295×945	1620×1050	2200×1600	2200×1600	2700×2270	3725×2920
Масса, кг	1800	16 870	18 030	20 100	23 190	25 470

тикали — величина линейного перемещения центра протяжки. В этом случае формирование профиля впадины зуба происходит по методу обкатки. Время нарезания одной впадины составляет 1,6 — 6 с. Так как трудно изготовить протяжку с точным профилем, то зубья ее профилируют приближенно — по дугам окружностей; поэтому этот способ нарезания применяют для тех передач, к которым не предъявляются особо высокие требования в отношении точности профиля, например в передачах дифференциала автомобилей.

Нарезание зубьев у конических колес с круговыми зубьями производят по методу обкатки резцовыми головками (рис. 87). Резцовая головка 4 установлена в люльке 1 станка. Она вращается вокруг своей оси (движение резания) и одновременно вращается вместе с люлькой вокруг оси 2 воображаемого плоского колеса 3 (движение обкатки). Один зуб воображаемого плоского колеса воспроизводят резцы 5. Движение обкатки резцовой головки жестко связано с вращением нарезаемого зубчатого колеса 6 так, что их движения воспроизводят зубчатое зацепление, другими словами, их начальные конусы катятся без скольжения.

В табл. 10 приведены технические характеристики некоторых станков для нарезания прямозубых конических колес.

---

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ

---

### СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Конические зубчатые колеса можно нарезать на универсально-фрезерных и поперечно-строгальных станках, но точность конических зубчатых колес, нарезанных на этих станках, низкая, поэтому для нарезания конических зубчатых колес применяют специальные зуборезные станки.

Станки для нарезания конических колес делят на станки, работающие по методу копирования, и станки, работающие по методу обкатки (егибания). В станках, работающих по методу копирования, используют один или два резца, которые получают направление движения по копиру. Такие станки применяют для нарезания конических зубчатых колес диаметром до 5000 мм и модулем до 40 мм. Выпускают две модели таких станков — 5А283 и 52ТМ2. Первый работает двумя резцами, а второй — одним. Основные технические данные этих станков приведены в табл. 11.

В станках, работающих по методу обкатки, используют различный режущий инструмент: резцы, фрезы, резцовые головки и протяжки. Выпускают станки для нарезания конических зубчатых колес по методу обкатки с диаметрами колес от 5 до 800 мм и модулем от 0,3 до 16 мм.

Технические характеристики станков

Параметр	5А283	52ГМ2
Диаметр нарезаемых зубчатых колес, мм	1600	3200
Длина образующей начального конуса, мм	800	1000
Модуль, мм	30	40
Ширина зубчатого венца, мм	270	500

На рис. 88 ориентировочно показаны применяемые методы зубонарезания при изготовлении прямозубых колес в зависимости от вида производства.

### 1. ЗУБОСТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК МОД. 5А250

Зубострогальный станок мод. 5А250 предназначен для нарезания конических колес с прямыми зубьями модулем от 1,5 до 8 мм и диаметром до 500 мм. На станке можно производить как черновое, так и чистовое зубонарезание. Станок работает двумя строгальными резцами. На станке мод. 5А250 можно нарезать конические колеса с бочкообразными зубьями. При черновом зубонарезании станок может работать по методу копирования, а при чистовом зубонарезании по методу оги- бания.

Станок (рис. 89) состоит из следующих основных узлов: станины 1, представляющей собой жесткую отливку коробчатой формы, внутри которой размещены механизмы и электрооборудование станка, передней бабки 2, в которой расположена люлька 3, на суппортах которой закрепляют и устанавливают резцы в определенном положении с

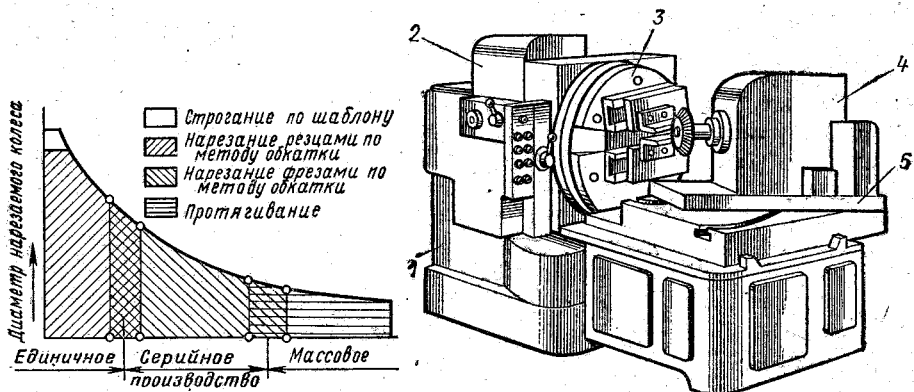


Рис. 88. Области применения методов нарезания конических зубчатых колес

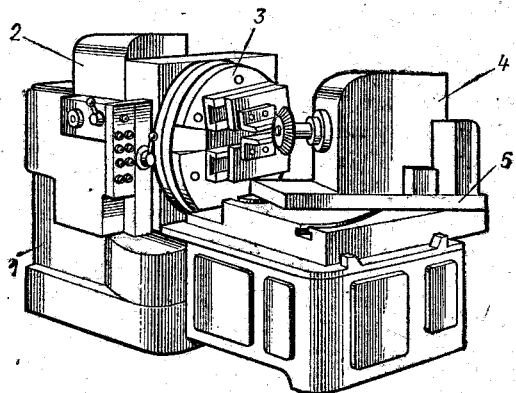


Рис. 89. Зубострогальный станок мод. 5А250

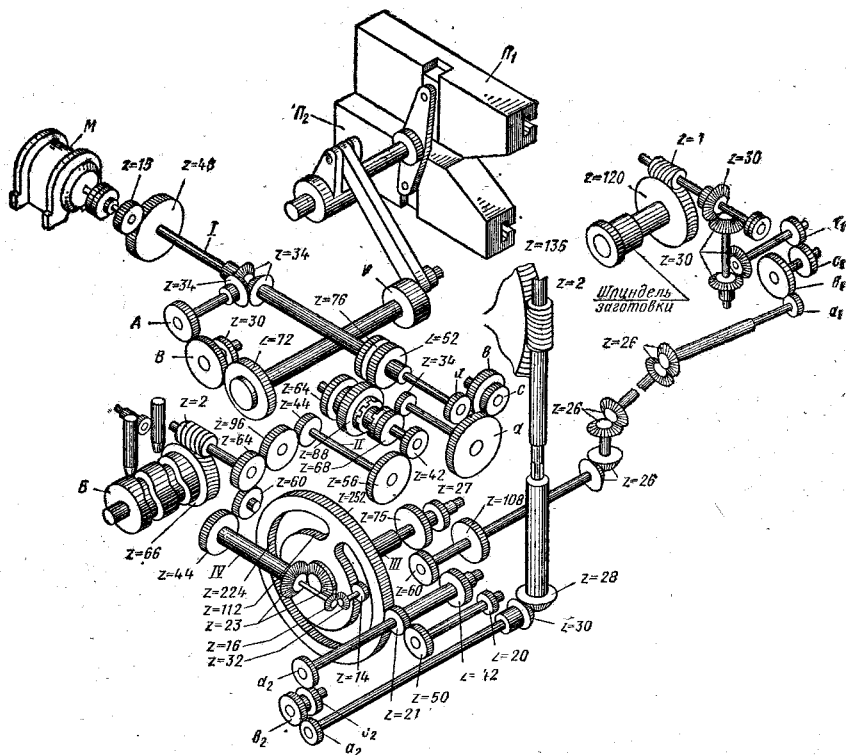


Рис. 90. Кинематическая схема зубострогального станка мод. 5А250

помощью шкал и установочных приспособлений. Нарезаемое колесо укрепляют на оправке, устанавливаемой в шпинделе делительной бабки 4 и зажимаемой посредством гидравлического зажима патрона. На столе станка расположена поворотная плита 5, на которой установлена делительная бабка 4.

**Цикл работы станка при чистовом зубонарезании.** Нажатием пусковой кнопки осуществляется быстрый подвод нарезаемого колеса, включается возвратно-поступательное движение суппорта, несущего резцы, вращение нарезаемого колеса и люльки. По окончании обработки зуба нарезаемое колесо быстро отводится назад, люлька начинает вращаться в обратном направлении, а нарезаемое колесо продолжает вращаться в ту же сторону, что и при рабочем ходе. По окончании обратного хода люльки цикл повторяется.

При черновом зубонарезании работа происходит в основном так же, как при чистовом, с той лишь разницей, что величина огибания уменьшается, а быстрый подвод стола заменяют медленной рабочей подачей, при которой резцы постепенно врезаются в заготовку.

**Кинематическая схема станка.** На рис. 90 приведена кинематическая схема станка, состоящая из ряда цепей, к числу которых следует отнести цепи главного движения, обеспечивающие необходимую ско-

рость резания, подачи, ускоренного перемещения и обкаточно-дели-  
тельного движения.

**Цепь главного движения.** От электродвигателя ( $N = 2,8$  кВт,  
 $n = 1420$  об/мин) вращение через колеса  $\frac{15}{48}$  передается на вал  $I$ , с ко-  
торого через конические колеса  $\frac{34}{34}$  на гитару скоростей со сменными  
колесами  $A$  и  $B$ , далее через передачу  $\frac{30}{72}$  на кривошипный вал, на конце  
которого находится кривошипный диск  $K$ , и с помощью рычажной  
системы, ползунов  $P_1$  и  $P_2$  резцы получают возвратно-поступательное  
движение.

Расчетные перемещения резцов запишем следующим образом:

$$1420 \text{ об/мин} \rightarrow n \text{ дв.ход/мин.}$$

Уравнение расчетных перемещений запишем так:

$$1420 \frac{15}{48} \frac{34}{34} \frac{A}{B} \frac{30}{72} = n \text{ дв. ход/мин.}$$

Решая уравнение, находим передаточное отношение сменных  
колес  $A$  и  $B$  для настройки гитары главного движения:

$$\frac{A}{B} = \frac{n}{185}; \quad n = \frac{1000 v}{2l},$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин, выбираемая по нормативам;  $l =$   
 $= b + (6 - 8)$  длина хода резцов, мм;  $b$  — длина нарезаемого зу-  
ба, мм.

Станок снабжают набором сменных колес, дающим возможность  
установить числа двойных ходов резцов в минуту в пределах 73 —  
470. Всего девять различных чисел двойных ходов резцов.

**Цепь подач (вращение барабана  $B$ ).** Подачу станка определяют  
временем обработки одного зуба в секунду.

От приводного электродвигателя  $M$ , посредством колеса  $\frac{15}{48}$ , дви-  
жение передается на вал  $I$ , с которого сменными колесами  $\frac{a c}{b d}$  гитары  
подач движение через колеса  $\frac{34}{68}$ , фрикционную муфту, колеса  $\frac{42}{56}$   
передается на вал  $II$ , с которого зубчатыми колесами  $\frac{44}{96} \frac{96}{64}$  и червяч-  
ную передачу  $\frac{2}{66}$  передается на барабан подач  $B$ , снабженный двумя ка-  
навками для черновой и чистовой нарезки зубьев колеса. Барабан  
подачи совершает один оборот за время нарезания зуба, причем рабо-  
чему ходу соответствует поворот на  $160^\circ$ , или  $\frac{4}{9}$  оборота, а холостому  
ходу  $200^\circ$ , или  $\frac{5}{9}$  оборота.

Расчетными перемещениями в этом случае будут время  $t$  нарезания  
одного зуба в секундах и поворот барабана подач за это время на ве-

личину  $\frac{4}{9}$  оборота. Уравнение для определения передаточного отношения сменных колес гитары подач запишется так:

$$s \frac{1420}{60} \frac{15}{48} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{34}{68} \frac{42}{56} \frac{44}{96} \frac{96}{64} \frac{2}{66} = \frac{4}{9}.$$

Отсюда находим передаточное отношение сменных колес гитары подач

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{7,69}{t}.$$

Пределы величин подач  $s = 4 \div 123$  с/зуб. Необходимую величину  $s$  выбирают по нормативам.

**Цепь ускоренных перемещений.** От приводного электродвигателя  $M$  через колеса  $\frac{15}{48}$  и  $\frac{34}{64}$  движение к барабану подач может быть передано через колеса  $\frac{76}{64}$  или  $\frac{52}{88}$  и через фрикционную муфту, колеса  $\frac{42}{56}$  на вал  $II$ , откуда через колеса  $\frac{44}{96}$   $\frac{96}{64}$  на червячную передачу  $\frac{2}{66}$  барабана подач.

Продолжительность ускоренного холостого хода люльки можно легко определить, зная, что барабан подач за это время должен повернуться на  $\frac{5}{9}$  оборота ( $\frac{200^\circ}{360^\circ}$ ).

Расчетные перемещения

$$\frac{5}{9} \text{ об/с} \rightarrow s_{x,x} \text{ с/зуб}$$

При передаче  $\frac{76}{64}$

$$\frac{5}{9} \frac{66}{22} \frac{64}{96} \frac{96}{44} \frac{56}{42} \frac{64}{76} \frac{48}{15} \frac{60}{1420} = 4 \text{ с/зуб} = s_{x,x};$$

при передаче  $\frac{52}{88}$

$$\frac{5}{9} \frac{66}{22} \frac{64}{96} \frac{96}{44} \frac{56}{42} \frac{88}{52} \frac{48}{15} \frac{60}{1420} = 6 \text{ с/зуб} = s_{x,x}.$$

При нарезании колеса с числом зубьев  $z \geq 17$   $t_x = 4$  с/зуб, а при числе зубьев  $z \leq 16$   $s_{xx} = 6$  с/зуб.

**Цепь вращения нарезаемого колеса (деление).** Эта цепь кинематически связывает вращение распределительного барабана  $B$  с вращением нарезаемого колеса следующим образом: распределительный барабан  $B$ , червячная передача  $\frac{66}{2}$ , зубчатые колеса  $\frac{64}{60}$   $\frac{60}{44}$ , коническая передача  $\frac{23}{23}$ , вал  $III$ , зубчатые передачи  $\frac{75}{60}$  или  $\frac{27}{108}$ , конические пары  $\frac{26}{26}$ ,  $\frac{26}{26}$ , сменные колеса гитары деления  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , конические колеса  $\frac{30}{30}$ ,  $\frac{30}{30}$ , червячная передача  $\frac{1}{120}$ , шпиндель нарезаемого колеса.

Нарезаемое колесо непрерывно вращается в одном направлении. На станке деление происходит через несколько зубьев, а не последовательно зуб за зубом, но так, чтобы при каждом цикле заготовка поворачивалась на целое число зубьев  $z_1$ , не имеющее общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса. Расчетные перемещения следует записать следующим образом: за время одного оборота распределительного барабана  $B$  заготовка должна совершить  $\frac{z_1}{z}$  оборота, где  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса.

Расчетное уравнение делительной цепи, когда происходит нарезание конического колеса по методу обкатки с участием пары колес  $\frac{75}{60}$ , запишем так:

$$1 \text{ об. расп. барабана} \frac{66}{2} \frac{64}{60} \frac{60}{44} \frac{23}{23} \frac{75}{60} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{30}{30} \times \\ \times \frac{30}{30} \frac{1}{120} = \frac{z_1}{z} \text{ об. заготовки.}$$

Откуда 
$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = 2 \frac{z_1}{z}.$$

При методе копирования, когда в делительной цепи участвует пара колес  $\frac{27}{108}$ , сменные колеса гитары деления подбирают по формуле

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = 10 \frac{z_1}{z}.$$

**Цепь обкатки.** Эта кинематическая цепь связывает вращение люльки с вращением нарезаемого колеса. Расчетные перемещения следует записать следующим образом. Когда люлька повернется на величину  $\frac{1}{z_0}$ , нарезаемое колесо должно повернуться на величину  $\frac{1}{z}$ . Другими словами, когда производящее колесо  $z_0$  повернется на один зуб, то и нарезаемое колесо также должно повернуться на один зуб.

Запишем расчетное уравнение для люльки и нарезаемого колеса:

$$\frac{1}{z_0} \frac{135}{2} \frac{28}{30} \frac{1}{102} \frac{21}{252} \frac{224}{14} \frac{32}{16} \frac{75}{60} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{26}{26} i_{\text{дел}} \frac{30}{30} \frac{30}{30} \frac{1}{120} = \frac{1}{z},$$

откуда 
$$\frac{z_0}{z} = \frac{7}{4} \frac{i_{\text{дел}}}{i_{\text{ог}}},$$

где  $i_{\text{ог}}$  — передаточное отношение сменных колес гитары огибания, равное  $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2}$ ;  $i_{\text{дел}}$  — передаточное отношение сменных колес гитары деления.

Подставляя в формулу  $\frac{z_0}{z} = \frac{7}{4} \frac{i_{\text{дел}}}{i_{\text{ог}}}$  вместо  $i_{\text{дел}} = 2 \frac{z_1}{z}$ , получим формулу для подбора сменных колес гитары обкатки:

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{7}{2} \frac{z_1}{z} \sin \delta,$$



где  $z_0 = \frac{z}{\sin \delta}$ ;  $\delta$  — половина угла при вершине начального конуса нарезаемого колеса.

**Пример.** Необходимо нарезать коническое зубчатое колесо с числом зубьев  $z = 53$ . Примем  $z = 9$ , тогда нарезание зубьев будет происходить в следующей последовательности:

1, 10, 19, 28, 37, 46	— 1-й оборот заготовки;
2, 11, 20, 29, 38, 47	— 2-й
3, 12, 21, 30, 39, 48	— 3-й
4, 13, 22, 31, 40, 49	— 4-й
5, 14, 23, 32, 41, 50	— 5-й
6, 15, 24, 33, 42, 51	— 6-й
7, 16, 25, 34, 43, 52	— 7-й
8, 17, 26, 35, 44, 53	— 8-й
9, 18, 27, 36, 45	— 9-й

То же

»

»

»

»

»

»

»

**Реверсивный механизм.** Роль реверсивного механизма люльки выполняет составное зубчатое колесо (рис. 91, а). Он состоит из нескольких частей: зубчатого сектора внутреннего зацепления  $ahq$ , имеющего 196 зубьев; зубчатого сектора наружного зацепления  $cde$ , имеющего 98 зубьев; полуокружностей  $abc$  и  $efq$ , имеющих по 28 зубьев. Замкнутый зубчатый контур  $abcdefqha$  приводится во вращение зубчатым колесом, имеющим 14 зубьев. Благодаря такому устройству при вращении колеса с числом зубьев 14 в одну сторону замкнутый зубчатый контур  $abcdefqha$  будет сообщать составному зубчатому колесу возвратное движение то в одну, то в другую сторону и тем самым реверсирование люльки, несущей режущий инструмент (резцы). Частота вращения колеса, имеющего 14 зубьев, за время цикла обработки одного зуба нарезаемого колеса может быть найдена из уравнения

$$n_{14} = \frac{z_s}{14} - 1,$$

где  $n_{14}$  — частота вращения колеса, имеющего 14 зубьев, за время одного качания составного зубчатого контура;  $z_s$  — число зубьев

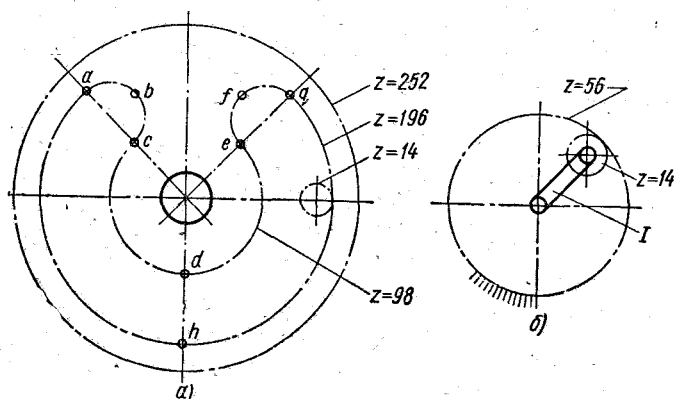


Рис. 91. Составное зубчатое колесо

замкнутого контура:

$$z_3 = 196 + 98 + 2 \cdot 28 = 350.$$

Подставляя в последнюю формулу данные, будем иметь

$$n_{14} = \frac{350}{14} - 1 = 24 \text{ об/цикл.}$$

Это означает, что за 24 частоты вращения колеса, имеющего 14 зубьев, происходит нарезание одного зуба на заготовке. Найдем число оборотов распределительного барабана  $B$ , когда шестерня с 14 зубьями совершит 24 об/цикл:

$$24 \frac{32}{16} \frac{44}{60} \frac{60}{64} \frac{2}{66} - 1 \text{ оборот.}$$

Таким образом, за время одного качания составного колеса распределительный барабан совершит один оборот.

Найти необходимую частоту вращения колеса с числом зубьев, равным 14, за время цикла нарезания одного зуба можно следующим образом: при внутреннем зацеплении частота вращения ее равна  $\frac{196}{14} -$

— 14, при наружном зацеплении  $\frac{98}{14} = 7$ . Когда происходит переход от внутреннего зацепления к наружному и наоборот, зубчатое колесо  $z = 14$ , контактируя с зубчатым колесом  $z = 56$  (сложены две полушестерни), работает как планетарная передача, что схематично показано на рис. 91, б, где  $I$  — ведущее звено (водило); колеса с числом зубьев 56 — неподвижное, а колесо с 14 зубьями — ведомое. Для нахождения передаточного отношения колеса с 14 зубьями составим табл. 12.

Таблица 12

Определение передаточного отношения планетарной передачи

Движение	Звенья системы		
	1	56	14
1-е частное	+1	+1	+1
2-е частное	0	—1	$\frac{-56}{14}$
Суммарное	1	0	—3

Следовательно, когда колесо с числом зубьев 14 полностью обегит колесо с числом зубьев 56, оно совершит три оборота. При сложении знак минус не учитывают. Тогда частота вращения колеса с числом зубьев  $z = 14$  будет  $14 + 7 + 3 = 24$  об/цикл.

**Гидропривод станка.** Станок мод. 5А250 гидрофицирован для выполнения следующих работ: зажима нарезаемого колеса на оправке,

переключения фрикционной муфты, рабочего и холостого ходов, подвода и отвода стола и счета циклов для выключения станка после нарезания всех зубьев колеса. Гидропривод состоит из нормализованных узлов и работает на минеральном масле марки Турбинное 22.

## 2. НАЛАДКА ЗУБОСТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Наладку станков производят на основании чертежа детали и наладочной карты, в которой приводят необходимые данные для наладки. Наладка зубострогальных станков включает: 1) настройку кинематических цепей станка: деления, огибания, подачи, скорости резания согласно параметрам нарезаемого конического колеса и обеспечение принятых режимов резания; 2) установку резцовых приспособлений и нарезаемого колеса; 3) установку требуемых положений узлов станка и величин их рабочих ходов.

**Установка заготовки и делительной бабки.** Заготовка нарезаемого колеса должна быть установлена так, чтобы вершина делительного конуса нарезаемого колеса совпадала с вершиной делительного конуса производящего колеса, а образующая конуса впадин нарезаемого колеса была параллельна плоскости, в которой лежит линия движения резцов.

При установке заготовки (рис. 92, а) выдерживают размерную цепь

$$A_c = A_m + B,$$

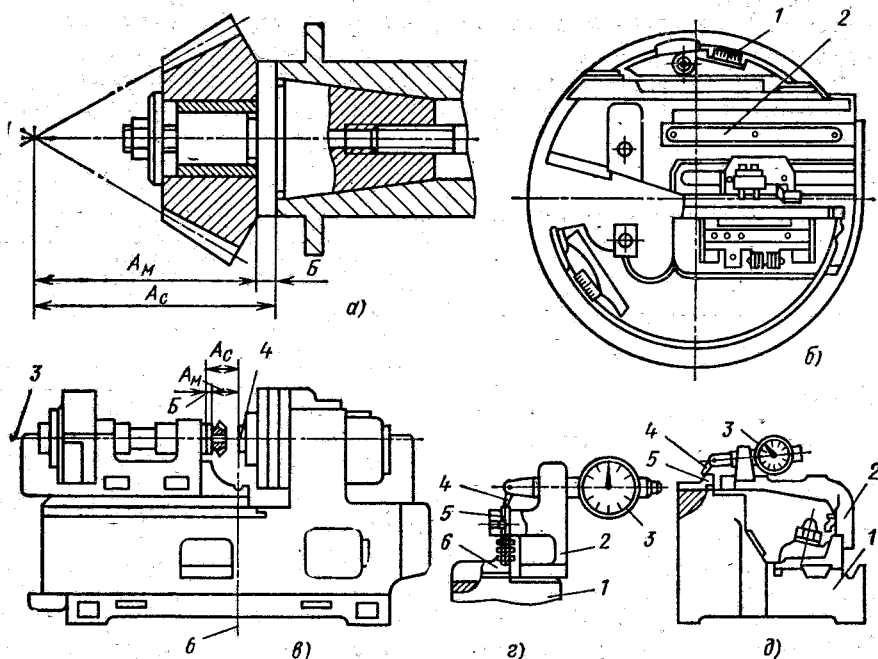


Рис. 92. Наладка зубострогальных станков

где  $A_0$  — расстояние от торца шпинделя до центра станка, мм;

$A_m$  — расстояние от вершины конуса до опорного торца, принятое по чертежу, мм;  $B$  — толщина буртика, мм.

Установка поворотной плиты, несущей делительную бабку, определяется углом конуса впадин колеса.

**Угловая установка суппортов.** При нарезании конических колёс суппорты с резцедержателями поворачивают на угол  $\omega^\circ$ , который отсчитывают по шкале 1 (рис. 92, б) вместе с направляющей планкой 2. При чистовом зубонарезании этот угол определяют по формуле

$$\omega^\circ = \frac{57,296 \left( \frac{s_t}{2} + h_f \operatorname{tg} \alpha \right)}{R_e \cos \theta_f},$$

где  $s_t$  — толщина зуба по делительной окружности, мм;  $h_f$  — высота ножки зуба, мм;  $\alpha$  — угол профиля резцов, град;  $R_e$  — длина образующей делительного конуса колес, мм;  $\theta_f$  — угол ножки зуба колеса, мм.

**Установка резцов.** Геометрическим центром зубострогальных станков является точка 4 (рис. 92, в), в которой пересекаются оси вращения люльки 3 и шпинделя 4 делительной бабки, а также ось поворота плиты 5. Установку резцов производят с помощью установочных калибров. Чтобы получить правильную форму 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 центральную ось станка 6.

Прежде всего резцы устанавливают по высоте так, чтобы их вершины были расположены в плоскости, перпендикулярной оси люльки и проходящей через центр станка. Такого положения достигают перемещением резцов вдоль резцедержателей, опорная плоскость которых наклонена под углом  $12^\circ$  к линии движения резцов. Проверку установки резцов производят для каждого резца.

На контрольную плиту 1 (рис. 92, г) устанавливают калибр 2 с индикатором 3, наконечник 4 которого касается мерительного штифта 5, лежащего на контрольном блоке 6. Индикатор устанавливают на нуль. Затем калибр переносят на направляющую планку 2 (рис. 92, б) люльки так, чтобы наконечник индикатора коснулся вершины резца. Резец передвигают по резцедержателю до тех пор, пока стрелка индикатора не установится на нуль. Достигнув этого положения, резец закрепляют болтами. После этого резцы устанавливают в правильное положение по режущим кромкам, используя при этом специальный калибр с индикатором, который настраивают по блоку 5 на контрольной плите 1 (рис. 92, д).

Калибр 2 устанавливают так, чтобы наконечник 4 индикатора 3 (см. рис. 93, г) находился против контрольного блока 5 (см. рис. 92, д). Шкалу индикатора устанавливают на нуль. Настроенный таким образом калибр переносят на направляющую планку 2 (см. рис. 92, б), при этом ножка индикатора должна касаться режущей кромки резца. Поднимая и опуская винт резцедержателя, добиваются получения ну-

левого положения на шкале индикатора, после чего закрепляют резцедержатель.

**Установка длины хода резцов.** Длину хода резцов  $l$  берут больше, чем длина зуба  $b$ , на величину перебега резца:

$$l = b + (a + c),$$

где  $a$  и  $c$  — величины перебега, принимаемые от 2 до 5 мм.

Длину хода резцов устанавливают с помощью кривошипного механизма.

**Режимы резания при зубострогании.** Стальные зубчатые колеса с модулями до 3 мм обычно нарезают за один рабочий ход, модулем более 3 мм за два рабочих хода — черновой и чистовой.

Скорость резания выбирают по нормативам.

### 3. ЗУБОРЕЗНЫЙ СТАНОК МОД. 5230

Зуборезный станок мод. 5230 (рис. 93) предназначен для нарезания прямозубых конических колес модулем от 1,5 до 8 мм и наибольшим диаметром до 320 мм. Наибольшая ширина зубчатого венца 50 мм.

В станине 1 расположена люлька 2, несущая два фрезерных суппорта 3 и 5. На станине расположена делительная бабка 4 с нарезаемым зубчатым колесом. Станок работает с двумя дисковыми фрезами с наружными диаметрами 275 мм. Одна из фрез — праворежущая (вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны шпинделя, на котором она закреплена), а другая — леворежущая. Обе фрезы прорезают одну и ту же впадину одновременно. Нарезание производят без подачи вдоль зуба, поэтому дно нарезаемой впадины получают вогнутой формы.

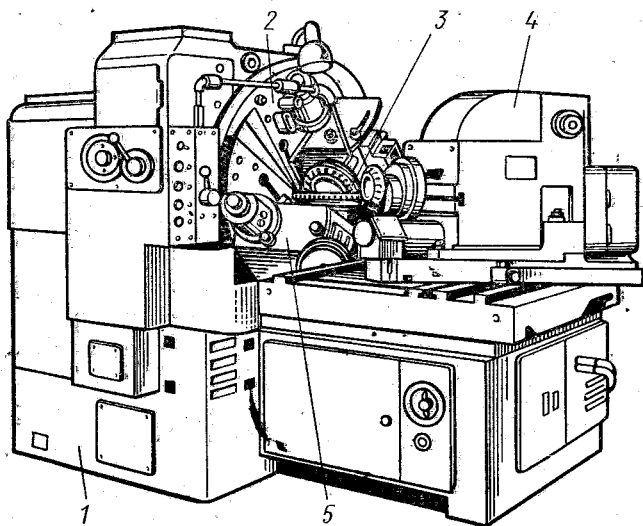


Рис. 93. Зуборезный станок мод. 5230

Зубчатые колеса могут быть нарезаны с прямолинейными зубьями или же с бочкообразными. Если профиль режущей кромки зубьев фрезы прямолинейный и направлен перпендикулярно оси фрезы, то зубья нарезанного колеса будут прямолинейные, а если режущая кромка резцов фрезы будет расположена под углом к оси фрезы, то зубья будут нарезаны бочкообразными.

Люлька станка мод. 5230 (рис. 94). Люлька станка относится к наиболее сложным узлам станка, отражающим сущность работы станка. В круглом отверстии станины станка 1 расположена люлька 2, на которой установлен верхний поворотный сегмент 3. Нижний сегмент 14 неповоротный, так как он соединен с деталями 15 и 18. Нижний сегмент 14 может перемещаться в осевом направлении двумя винтами 11, на которых установлены зубчатые колеса 16. Оба колеса 16 соединены венцом зубчатого колеса с внутренним зацеплением 17. Вращающий шестигранник 10, поворачивают венец 17 и тем самым через шестерни 16, вращая винты 11, перемещают нижний сегмент 14 в осевом

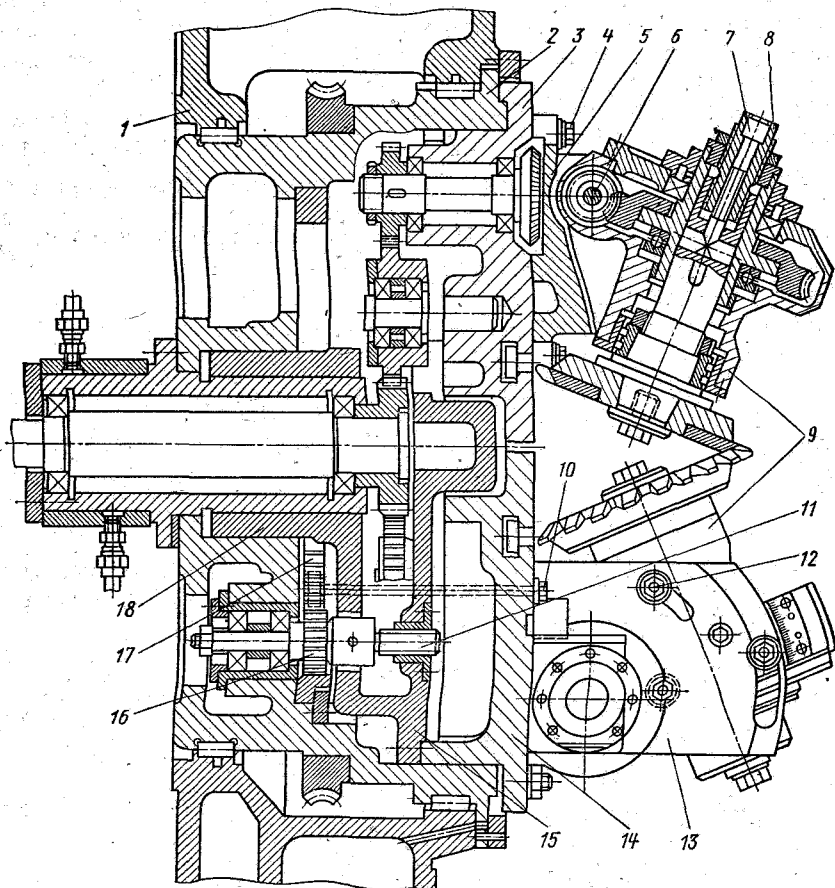


Рис. 94. Люлька станка мод. 5230

направлении. Это перемещение необходимо при наладке станка для того, чтобы можно было установить вершины резцов фрез в одной вертикальной плоскости в том случае, когда одна из фрез отличается по наружному диаметру от другой. Оба сегмента 3 и 14 имеют направляющие, по которым могут перемещаться суппорты 5 и 13 при наладке станка для установки инструмента по длине образующей начального конуса нарезаемого зубчатого колеса. Величину установки отсчитывают по шкалам, после чего суппорты закрепляют винтами 4. На каждом суппорте расположена фрезерная головка 9, которую можно поворачивать вокруг оси 6 и закреплять винтами 12. Шпиндели фрез в осевом направлении перемещают дифференциальными винтами 8, а затем зажимают винтами 7.

**Кинематическая схема станка мод. 5230.** Кинематическая схема станка мод. 5230 отличается от кинематической схемы станка мод. 5А250 только устройством механизма главного движения и круговой подачи. В состав кинематической схемы станка мод. 5230 входят составное зубчатое колесо, гитары деления и обкатки, настраиваемые по тем же формулам, что и для станка мод. 5А250. Поэтому рассмотрим только часть кинематической схемы, отражающей цепь главного движения и подачи станка (рис. 95).

**Цепь главного вращательного движения (резания).** От электродвигателя  $M$  ( $N = 4,5$  кВт;  $n = 1420$  об/мин) движение передается через пару колес  $\frac{26}{46}$ , вал I, коническую пару  $\frac{34}{34}$ , сменные колеса гитары скорости резания  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал II, колеса  $\frac{48}{65} \frac{65}{33} \frac{48}{60}$  и червячную передачу  $\frac{4}{28}$  шпинделям фрезерных головок.

Расчетные перемещения запишем так:

1420 об/мин электродвигателя  $\rightarrow n$  частот вращения фрезы;

$$1420 \frac{26}{46} \frac{34}{34} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{48}{65} \frac{65}{33} \frac{48}{60} \frac{4}{28} = n,$$

откуда

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{n}{130}.$$

**Цепь круговой подачи.** Цикл нарезания зуба колеса происходит за время одного оборота барабана подач, но рабочий ход совершается за  $\frac{4}{9}$  его оборота, как и в станке мод. 5А250, в течение времени рабочего хода, равного  $t_p$  с.

От электродвигателя  $M$  через колеса  $\frac{26}{46}$ , полумуфту  $M_3$ , сменные колеса гитары подач  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , колеса  $\frac{34}{68} \frac{42}{56} \frac{48}{90} \frac{90}{64}$  и червячную передачу  $\frac{2}{72}$  вращение передается барабану подач, полумуфта  $M_2$  включена вправо. Расчетные перемещения следует записать так:

$$\frac{1420}{60} a \rightarrow \frac{4}{9} \text{ об. барабана.}$$

Напишем расчетное уравнение

$$t_p = \frac{1420}{60} \frac{26}{46} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{34}{68} \frac{42}{56} \frac{48}{90} \frac{90}{64} \frac{2}{72} = \frac{4}{9},$$

СГКУДА

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{4,2}{10}.$$

Время нарезания одного зуба (за один рабочий ход) от 5 до 80 с.

Найдем время ускоренного хода барабана, зная, что он поворачивается за время холостого хода  $t_{x.x}$  на величину  $\frac{5}{9}$ . Полумуфты  $M_3$  и  $M_4$  включены. Напишем расчетное уравнение

$$t_{x \cdot x} = \frac{1420}{60} - \frac{26 \cdot 52}{46 \cdot 88} - \frac{42}{56} - \frac{48}{90} - \frac{90}{48} - \frac{2}{72} = \frac{5}{9},$$

откуда  $t_{x-x} = 4,5 \text{ с.}$ 

**Комбинированный метод нарезания конических колес.** Сущность его состоит в том, что сначала происходит врезание инструмента на

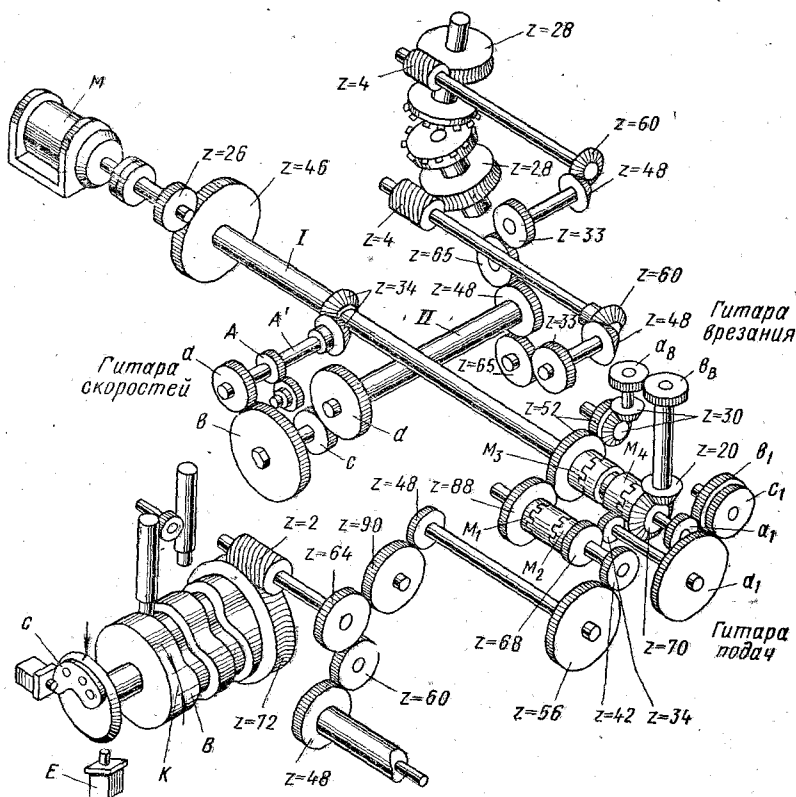


Рис. 95. Кинематическая схема цепей главного движения и подачи станка мод. 5230



глубину впадин, а затем начинается обкатка для образования эвольвентного профиля зуба. При комбинированном способе нарезания вращение барабана подач на время врезания замедляется переключением муфт  $M_3 - M_4$  из левого положения в правое. Это переключение осуществляют гидравлически от команды кулачка  $C$  нажимом на направляющий гидрораспределитель  $E$  системы. Благодаря переключению муфты движение от электродвигателя  $M$  передается барабану подач по следующей цепи: колеса  $\frac{26}{46}$ , далее  $\frac{52}{52}$ , конические колеса  $\frac{30}{30}$ , сменные колеса гитары врезания  $\frac{a_B}{b_B}$ , конические колеса  $\frac{20}{70}$ , сменные колеса гитары подач  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , ряд колес  $\frac{34}{68} \frac{42}{56} \frac{48}{90} \frac{90}{64}$ , червячная передача  $\frac{2}{72}$ , приводящая в движение барабан подач.

При врезании от кривой участка барабана  $K$  он повернется на  $25^\circ$ , что составит  $\frac{25^\circ}{360^\circ} = \frac{5}{72}$  оборота барабана. Время врезания  $t_{вр}$  может быть найдено исходя из следующих расчетных перемещений:

$$t_{вр} \text{ с} \rightarrow \frac{5}{72} \text{ об. барабана.}$$

Напишем расчетное уравнение

$$\frac{1420}{60} \frac{26}{46} \frac{52}{52} \frac{30}{30} \frac{a_B}{b_B} \frac{20}{70} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{34}{68} \frac{42}{56} \frac{48}{90} \frac{90}{64} \frac{2}{72} = \frac{5}{72},$$

откуда  $\frac{a_B}{b_B} = 0,55 \frac{t_{огиб}}{t_{вр}}$  при подстановке  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{4,5}{t_{огиб}}$ , где  $t_{огиб}$  — время работы станка по методу огибания или  $t_{раб}$ .

Необходимое отношение  $\frac{t_{огиб}}{t_{вр}}$  определяют опытным путем исходя из оптимальной стойкости режущего инструмента. Ориентировочно можно принимать  $\frac{t_{огиб}}{t_{вр}} = 1$ .

Нарезание стальных конических колес парными дисковыми фрезами производят со скоростью резания 30 — 35 м/мин и круговыми подачами 15 — 30 с/зуб.

Станок гидрофицирован. Отвод стола с делительной бабкой в загрузочное положение, подвод его в рабочее положение, а также зажим нарезаемого колеса производят гидравлически. Уборка стружки производится автоматически с помощью гидравлического двухшпиндельного транспортера. Смазка всех основных узлов станка автоматическая.

Автоматический счетчик циклов в каждый момент работы станка показывает число зубьев, оставшееся до конца нарезания зубчатого колеса.

#### 4. ЗУБОРЕЗНЫЙ СТАНОК МОД. 528С

Станки для нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями делят на универсальные и специализированные. На универсальных станках производят черновое и чистовое нарезание зубчатых

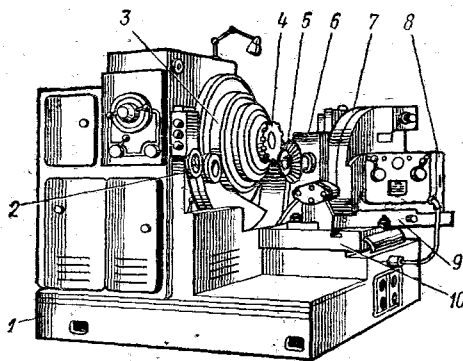


Рис. 96. Зуборезный станок мод. 528С

колес, а на специализированных только черновое или только чистовое зубонарезание.

На рис. 96 показан общий вид зуборезного станка для нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями. На нем можно нарезать зубчатые колеса диаметром от 30 до 800 мм и модулем от 2,5 до 15 мм. Станок предназначен главным образом для чистового нарезания конических колес круговыми зубьями по методу обкатки. На нем также можно производить черновое зубонарезание методом

врезания, но целесообразнее последнее делать на более простых и менее точных специализированных станках.

На массивной станине 1 установлен стол 10, на котором расположены поворотная плита 9, делительная бабка 7 с нарезаемым колесом 5, вертикальным суппортом 6 и гитарой деления 8. В круговом отверстии станины расположена люлька 3, на которой установлена резцовая головка 4; маховичок 2 предназначен для ручного привода станка.

**Цикл работы станка.** Рабочий цикл станка при чистовом нарезании методом обкатки производится следующим образом. После нажатия пусковой кнопки стол с заготовкой быстро подводится к резцовой головке, затем включаются механизмы вращения резцовой головки, нарезаемого колеса и качания люльки. После нарезания впадины зуба огибанием заготовка, продолжая вращаться, быстро отводится назад, а люлька ускоренно (от составного колеса) поворачивается в исходное положение и начинается прорезка следующей впадины.

При черновом зубонарезании методом врезания работа станка отличается от чистового зубонарезания тем, что величина обкатки уменьшается, а быстрый подвод стола заменяют медленной рабочей подачей нарезаемого колеса, при которой резцовая головка постепенно врезается в заготовку. После нарезания всех зубьев колеса станок автоматически останавливается.

**Кинематическая схема станка** (рис. 97). Она состоит из ряда отдельных связанных между собой следующих цепей: главного движения, подачи, деления, огибания, модификатора, ускоренных перемещений.

**Главное движение.** От электродвигателя ( $N = 10$  кВт,  $n = 3000$  об/мин) вращение к инструментальному шпинделю передается следующим образом: зубчатая передача  $\frac{16}{64}$ , вал I, коническая передача  $\frac{27}{27}$ , вал II, сменные колеса гитары скорости  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал III, колеса  $\frac{40}{40}$ , вал IV, колеса внутреннего зацепления  $\frac{19}{87}$ , шпиндель резцовой головки V.



Расчетные перемещения запишем так:  
 3000 об/мин  $\rightarrow n$  об/мин резцовой головки:

$$3000 \frac{16}{64} \frac{27}{27} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{40}{40} \frac{19}{87} = n,$$

откуда  $\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{n}{164}.$

Частота вращения резцовой головки от 21 до 300 об/мин. Вращение резцовой головки можно реверсировать электродвигателем.

Движение подачи. Подачу исчисляют временем рабочего хода на нарезание одного зуба в секунду.

Цепь подачи связывает вращение электродвигателя с распределительным барабаном следующим образом: от электродвигателя через зубчатую передачу  $\frac{16}{64}$ , вал  $I$ , сменные колеса гитары подач  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , вал  $VI$ , на котором установлена муфта  $M$  для переключения на рабочий медленный ход, через колеса  $\frac{22}{48}$  или  $\frac{45}{43}$ , минуя сменные колеса подачи — ускоренный холостой ход. Далее с вала  $VI$  через колеса  $\frac{20}{24}$  движение передается на вал  $VII$ , на котором установлена подвижная втулка с двумя коническими колесами  $z = 20 - 20$ , посаженная на скользящей шпонке. Эти конические колеса поочередно могут быть сцеплены с колесом  $z = 40$ . Это делается для того, чтобы подача станка всегда происходила в одну сторону. С колесом  $z = 40$  сцепляется нижнее колесо  $z = 20$ , когда нарезание колес производят левой резцовой головкой, а для нарезания колес правой резцовой головкой — верхнее. С вала  $VIII$  через ряд зубчатых колес  $\frac{46}{69}$  и  $\frac{63}{70}$  движение передается червячной передаче  $\frac{2}{72}$ , которая приводит во вращение распределительный барабан подачи  $B$ . Барабан подачи имеет две канавки: для перемещения стола при нарезании колес по методу обкатки и методу врезания. За время нарезания зуба барабан делает один оборот. Рабочему ходу соответствует поворот барабана на  $160^\circ$ , или  $\frac{4}{9}$  оборота, а холостому — на  $200^\circ$ , или  $\frac{5}{9}$  оборота.

Расчетные перемещения для рабочего хода

$$t_p, \text{ с} \rightarrow \frac{4}{9} \text{ об. барабана.}$$

Расчетное уравнение

$$t_p \frac{3000}{60} \frac{16}{64} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{22}{58} \frac{20}{24} \frac{20}{40} \frac{46}{69} \frac{63}{70} \frac{2}{72} = \frac{4}{9},$$

откуда  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{13,5}{t_p}.$

Время холостого хода  $t_{х.х}$  за один цикл. Движение от электродвигателя к барабану подач происходит следующим образом: зубчатые колеса  $\frac{16}{64}$ , вал  $I$ , колеса  $\frac{45}{43}$ , вал  $VI$ , колеса  $\frac{20}{24}$ , вал  $VII$ , конические

колеса  $\frac{20}{40}$ , колеса  $\frac{46}{69}$  и  $\frac{63}{70}$ , червячная передача  $\frac{2}{72}$ , вращающая барабан подач.

Расчетные перемещения для холостого хода

$$t_{x,x} \text{ с} \rightarrow \frac{5}{9} \text{ об. барабана.}$$

Расчетное уравнение

$$t_{x,x} \frac{3000}{60} \frac{16}{64} \frac{45}{43} \frac{20}{24} \frac{20}{40} \frac{46}{69} \frac{63}{70} \frac{2}{72} = \frac{5}{9},$$

отсюда находим  $t_{x,x} = 6 \text{ с.}$

**Делительная цепь.** Этой цепью связывают вращение барабана с вращением нарезаемого колеса так, чтобы заготовка после прорезания на ней одной впадины поворачивалась бы на целое число зубьев  $z_i$ , не имеющих общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса. Следовательно, за один оборот барабана подач нарезаемое колесо должно повернуться на величину  $\frac{z_i}{z}$ , где  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса.

Вращение нарезаемому колесу от барабана подач передается следующим образом: червячная передача  $\frac{72}{2}$ , зубчатые передачи  $\frac{70}{63}$  и  $\frac{69}{46}$ , двухскоростная коробка, вал VIII с передаточными отношениями  $\frac{50}{40}$  и  $\frac{27}{108}$ . Передача  $\frac{50}{40}$  включается при работе станка по методу обкатки, а передача  $\frac{27}{108}$  при нарезании зубьев методом врезания, далее движение передается на вал IX, колеса  $\frac{24}{30}$ , вал X, конические колеса  $\frac{26}{26}$ , вал XI, конические колеса  $\frac{26}{26}$ , вал XII, конические колеса  $\frac{25}{25}$ , вал XIII, сменные колеса гитары деления  $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2}$ , вал XIV, конические колеса  $\frac{28}{30}$ , вал XV, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал XVI, червячную передачу  $\frac{1}{112}$ , шпиндель делительной бабки с нарезаемым колесом. Как и в станке мод. 5А250, расчетные перемещения делительной цепи

$$1 \text{ об. барабана} \rightarrow \frac{z_i}{z} \text{ об. заготовки.}$$

Расчетное уравнение при работе методом огибания

$$1 \frac{72}{2} \frac{70}{63} \frac{69}{46} \frac{50}{40} \frac{24}{30} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{25}{25} \cdot \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{28}{30} \frac{29}{29} \frac{1}{112} = \frac{z_i}{z},$$

откуда

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = 2 \frac{z_i}{z}.$$

При работе станка по методу врезания, когда вместо передачи  $\frac{50}{40}$  включают передачу  $\frac{27}{108}$ , передаточное отношение сменных колес гитары деления будет

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = 10 \frac{z_1}{z}$$

**Цепь обкатки (качания люльки).** Эта цепь связывает вращение нарезаемого колеса с вращением люльки, на которой расположено производящее колесо с числом зубьев  $z_0$ . Передаточное отношение этой цепи равно отношению числа зубьев  $z$  нарезаемого колеса к числу зубьев  $z_0$  воображаемого плоского производящего колеса.

Передача движения от нарезаемого колеса к люльке происходит следующим образом: червячная передача  $\frac{112}{1}$ , вал XVI, конические колеса  $\frac{29}{29}$ , вал XV, конические колеса гитары деления (обозначим их передаточное отношение через  $i_{\text{дел}}$ ), вал XIII, конические колеса  $\frac{26}{26}$ , вал X, колеса  $\frac{30}{24}$ , вал IX, колеса  $\frac{40}{50}$ , вал VIII, колеса  $\frac{46}{69}$  и  $\frac{69}{60}$ , вал XVII, конические колеса  $\frac{16}{32}$ , вал XVIII, колеса  $\frac{16}{240}$ , составное колесо, колеса  $\frac{270}{23}$  вал XIX, коробка на две скорости с передаточными отношениями  $\frac{30}{30}$  и  $\frac{15}{75}$ , вал XX. При нарезании колес по методу обкатки включают колеса  $\frac{30}{30}$ , а при методе врезания — колеса  $\frac{15}{75}$ . Далее через сменные колеса  $\frac{a_0 c_0}{b_0 d_0}$  гитары обкатки движение передается на вал XXI, конические колеса  $\frac{50}{42}$ , вал XXII, червячную передачу  $\frac{2}{150}$ , люльку.

Наличие в кинематической схеме станка составного зубчатого колеса сообщает люльке вращение то в одну, то в другую стороны.

Расчетные перемещения для метода огибания запишем так:

$$\frac{1}{z} \text{ об. нарезаемого колеса} \rightarrow \frac{1}{z_0} \text{ об. люльки;}$$

$$\frac{1}{z} \frac{112}{1} \frac{29}{29} \frac{30}{28} \frac{1}{i_{\text{дел}}} \frac{25}{25} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{30}{24} \frac{40}{50} \frac{46}{60} \frac{69}{60} \frac{16}{32} \frac{16}{240} \times \\ \times \frac{270}{30} \frac{30}{30} \frac{a_0}{b_0} \frac{c_0}{d_0} \frac{50}{42} \frac{2}{150} = \frac{1}{z_0},$$

откуда  $\frac{a_0}{b_0} \frac{c_0}{d_0} = \frac{7}{4} \frac{z}{z_0} i_{\text{дел}}$ ; подставляя  $i_{\text{дел}} = \frac{2z_1}{z}$ , будем иметь

$$\frac{a_0}{b_0} \frac{c_0}{d_0} = \frac{z}{2} \frac{z_1}{z_0}.$$

При нарезании зубьев колеса методом врезания

$$\frac{a_0}{b_0} \frac{c_0}{d_0} = \frac{35}{2} \frac{z_1}{z_0}.$$

Число зубьев воображаемого плоского производящего колеса определяют по формуле

$$z_0 = \sqrt{z_1^2 + z_2^2},$$

где  $z_1$  — число зубьев нарезаемого колеса;  $z_2$  — число зубьев нарезаемого колеса, парного с нарезаемым.

**Составное колесо.** Оно аналогично составному колесу станка мод. 5А250. Найдем число вращений колеса с 16 зубьями, когда оно obeжит зубчатый контур, по формуле

$$n_{16} = \frac{210 + 126 + 2 \cdot 24}{16} - 1 = 23.$$

Следовательно, когда колесо с 16 зубьями obeжит зубчатый контур, оно совершит 23 частоты вращения, или, другими словами, за это время произойдет цикл нарезания зуба.

Найдем частоту вращения барабана за 23 оборота колеса с числом зубьев 16:

$$23 \frac{32}{16} \frac{60}{69} \frac{63}{70} \frac{2}{72} = 1.$$

**Определение угла поворота люльки при обкатке профиля нарезаемого зуба.** Минимальный угол поворота люльки, необходимый для огибания всего профиля нарезаемого зуба, определяют по формуле

$$\theta^\circ = 57,3 \left( 2 \operatorname{tg} \delta + \frac{s_t}{2} + \frac{b \operatorname{tg} \beta}{R_e - 0,5b} \right),$$

где  $\delta$  — половина угла при вершине начального конуса нарезаемого колеса, град;  $s_t$  — ширина впадины между зубьями нарезаемого колеса по дуге начальной окружности, мм;  $b$  — ширина зубчатого венца, мм;  $R_e$  — длина образующей начального конуса нарезаемого колеса, мм;  $\beta$  — угол наклона зубьев в средней точке (угол спирали), град.

Расчетные перемещения за время поворота распределительного барабана на угол  $160^\circ$  и люльки на угол  $\theta^\circ$

$$160^\circ \frac{72}{2} \frac{70}{63} \frac{69}{60} \frac{16}{32} \frac{16}{240} \frac{270}{23} \frac{30}{30} i_0 \frac{50}{42} \frac{2}{150} = \theta^\circ,$$

откуда

$$\theta^\circ = \frac{160^\circ}{3,5},$$

где  $i_0 = \frac{a_0 c_0}{b_0 d_0} = \frac{7}{2} \frac{z_1}{z_0}.$

**Определение числа зубьев  $z_1$  при повороте нарезаемого колеса за время холостого хода.** Зная, что угол поворота люльки за время

рабочего хода  $\theta = \frac{160^\circ}{3,5} i_0$  и передаточное отношение сменных колес гитары огибания  $i_0 = \frac{3,5}{z_0} z_i$ , можно определить величину  $z_i$  путем подстановки в формулу  $\theta = \frac{160^\circ}{3,5}$  величины  $i_0$ :

$$z_i = \frac{\theta^\circ z_0}{160^\circ}.$$

Найдя по этой формуле  $z_i$ , округляют до ближайшего большего целого числа, не имеющего общих множителей с числом нарезаемых зубьев  $z$ .

В табл. 13 приведены технические характеристики некоторых зуборезных станков для нарезания конических колес с круговыми зубьями.

Таблица 13

Технические характеристики зуборезных станков  
для нарезания конических колес с круговыми зубьями

Параметр	5А27С4	525	5Б231	5В232	528с	5А284
Диаметр обрабатываемого колеса при передаточном отношении 10:1 и угле спиралей 30°	500	500	500	500	800	1600
Модуль нарезаемых колес, мм	10	10	10	10	15	30
Длина образующей делительного конуса, мм	0—250	0—260	0—230	0—230	0—420	150—800
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	70	65	65	65	100	235
Угол поворота бабки нарезаемого колеса, град	943—84	530—84	4—90	4—90	530—840	5—90
Число зубьев колеса	5—100	5—100	5—100	5—100	4—100	10—150
Диаметр резцовых головок, дюймы	6, 9, 12	6, 7, 9, 12	7, 9, 12, 18	7, 9, 12	6, 7, 9, 12, 18	457, 650 и 900 мм
Частота вращения шпинделя резцовой головки, об/мин	35—218	25—235	25—252	3—52	21—300	8, 35—62
Продолжительность обработки одного зуба, с	7—80	5—76	3—4	—	7, 5—240	24—1250
Мощность главного двигателя, кВт	4,5	4,5	7	3	10	13
Габариты станка (длина × ширина), в мм	2470 × 1500	2200 × 1600	2280 × 1785	2300 × 1850	2600 × 2350	5600 × 4000
Масса, кг	8120	7500	7000	7500	14 000	41 670



## ЗУБОЗАКРУГЛЯЮЩИЕ СТАНКИ

## 1. МЕТОДЫ ЗАКРУГЛЕНИЯ ЗУБЬЕВ КОЛЕСА

В коробках скоростей и подач металлорежущих станков, в коробках передач автомобилей и тракторов и в ряде других машин широко применяют скользящие блоки колес, переключаемые для изменения частоты вращения выходного вала или шпинделя.

Торцы зубьев скользящих зубчатых колес и колес, сопряженных с ними, закругляют для облегчения переключения и повышения износостойкости колес. На рис. 98 приведены некоторые формы торцовых поверхностей зубьев; наибольшее применение получили конусная (рис. 98, а), заострения (рис. 98, б, в).

Заостренные торцовые поверхности имеют симметричную форму, угол заострения принимают в пределах  $90^{\circ}$ — $120^{\circ}$ . При уменьшении угла заострения включаемость зубчатых колес ухудшается, а ослабленная торцовая часть зуба быстро изнашивается. Наиболее высокими эксплуатационными качествами обладают зубья с торцовыми поверхностями бочкообразной формы, при которой кромочные давления утаиваются, а зона контакта переносится по высоте зуба в область делительной окружности. Бочкообразная форма по сравнению с конической и заостренной формами торца увеличивает долговечность и облегчает переключение.

Закругление торцов зуба производят следующими фрезами: пальцевой, трубчатой, червячной, дисковой фасонной фрезами и др. Наиболее распространенная схема зубозакругления приведена на рис. 98, г. Метод нарезания по этой схеме является универсальным и единственным из существующих методов, с помощью которого можно образовать на торце зубьев бочкообразное закругление.

В процессе работы пальцевой фрезы ее ось расположена перпендикулярно оси колеса. Обрабатываемое зубчатое колесо вращается с постоянной скоростью, а фреза, вращаясь вокруг своей оси, одновременно движется по дуге в плоскости, перпендикулярной оси колеса, и возвратно-поступательно вдоль своей оси за время поворота колеса на один зуб. Возвратно-поступательное движение на каждый зуб обрабатываемого колеса шпиндель с фрезой получают от профильного копира.

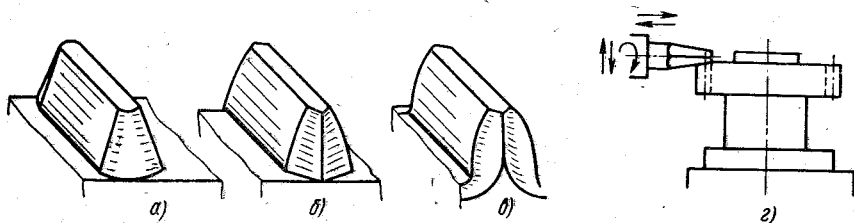


Рис. 98. Формы торцов зубьев переключаемых зубчатых колес

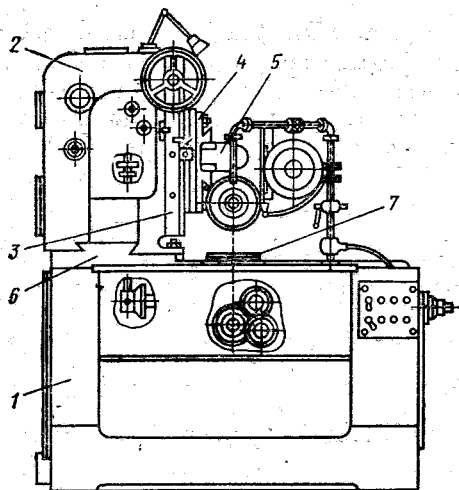


Рис. 99. Зубозакругляющий станок мод. 5582

Метод закругления пальцевой фрезой обладает следующими недостатками: небольшой стойкостью, образованием длинной тонкой игольчатой стружки, которая может травмировать рабочего, и прочными заусенцами со стороны выхода фрезы.

## 2. ЗУБОЗАКРУГЛЯЮЩИЙ СТАНОК МОД. 5582

На рис. 99 показан общий вид зубозакругляющего станка мод. 5582. Станок предназначен для снятия фасок и закругления торцов цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями как наружного, так и внутреннего зацепления.

Процесс закругления зубьев на станке основан на принципе сочетания непрерывного вращения заготовки и синхронного перемещения вращающегося инструмента (пальцевой фрезы) вдоль зуба инструмента. Закругление зубьев колеса производят за несколько проходов в зависимости от модуля обрабатываемого колеса, материала и заданной шероховатости поверхности закругления.

Станок работает по автоматическому циклу: быстрый подвод режущего инструмента в заготовку, рабочая подача и возврат инструмента в исходное положение. Станок гидрофицирован. Подвод и отвод инструментальной бабки и зажим обрабатываемого колеса осуществляется гидравлически.

### Краткая техническая характеристика

#### *Наружное зацепление*

Диаметр обрабатываемого колеса, мм . . . . .	500
Модуль закругляемых зубьев, мм . . . . .	8
Число закругляемых зубьев колеса . . . . .	160
Угол наклона зуба, град . . . . .	35

#### *Внутреннее зацепление*

Внутренний диаметр колеса, мм . . . . .	200
Модуль закругляемых зубьев, мм . . . . .	8
Число закругляемых зубьев . . . . .	66

На станине станка 1 установлена стойка 4, на вертикальной ее плоскости установлена инструментальная бабка, которая состоит из салазок 3, поворотной плиты 5 и головки 6. Стойку можно перемещать по поперечным направляющим 2 станины. Станина станка имеет горизонтальные направляющие, на которых установлена шпиндельная

бабка обрабатываемой детали 7. В шпindelь бабки устанавливают оправку для закрепления на ней обрабатываемого зубчатого колеса.

**Кинематическая схема станка мод. 5582.** В станке имеются следующие кинематические цепи: главного движения, вращения заготовки, возвратно-поступательного движения инструмента (рис. 100).

**Главное движение.** От электродвигателя  $M1$  ( $N = 1,7$  кВт,  $n = 1420$  об/мин) через клиноременную передачу со сменными шкивами  $d_3$  и  $d_4$  движение сообщается пальцевой фрезе с частотой вращения 1000, 1600 и 2500 об/мин. Обработку производят при скорости резания 35—40 м/мин, время обработки одного зуба составляет от 1 до 6 с.

**Вращение заготовки.** От электродвигателя  $M2$  ( $N = 0,7—1,2$  кВт;  $n = 720 \div 930$  об/мин) посредством клиноременной передачи  $\frac{d_1}{d_2}$  движение передается на вал  $I$ , червячную передачу  $\frac{2}{48}$ , вал  $II$ , на котором

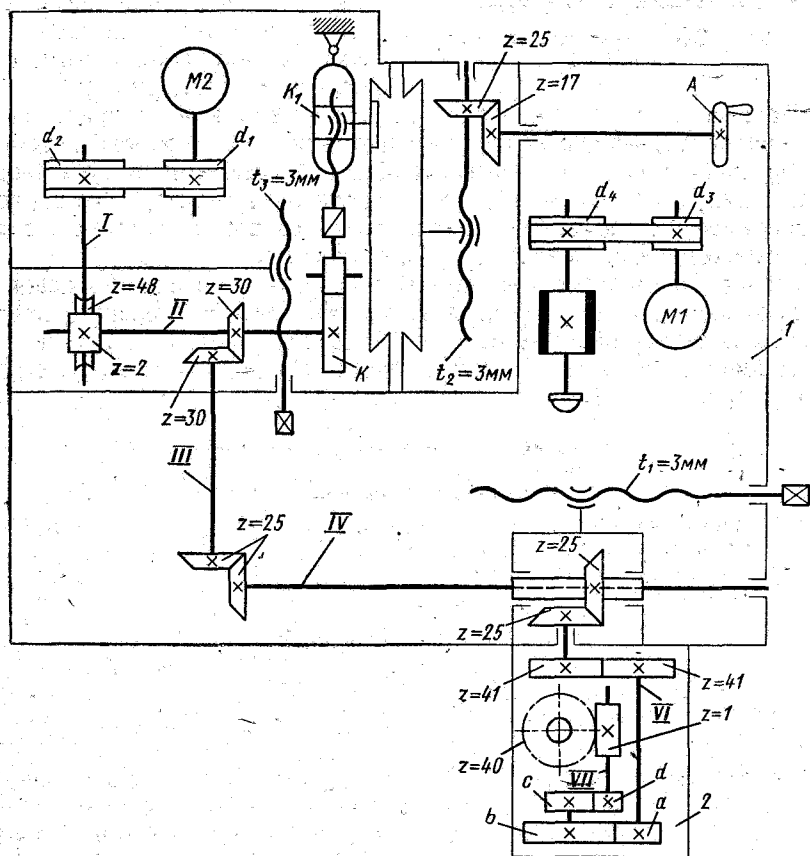


Рис. 100. Кинематическая схема зубозакругляющего станка мод. 5582:

1 — инструментальная бабка; 2 — бабка изделия

установлен кулачок  $K$ , коническую передачу  $\frac{30}{30}$ , вал  $III$ , конические колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $IV$ , конические колеса  $\frac{25}{25}$ , вал  $V$ , цилиндрические колеса  $\frac{41}{41}$ , вал  $VI$ , сменные колеса  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ , вал  $VII$ , червячную передачу  $\frac{1}{40}$ , шпиндель, на котором закреплено обрабатываемое колесо. Эта кинематическая цепь состоит из двух кинематических цепей: жесткой и нежесткой.

Жесткая кинематическая цепь, связывающая число двойных ходов фрезы с вращением заготовки так, что, когда вал  $II$ , несущий кулачок  $K$ , совершит один оборот, то шпиндель, несущий заготовку, должен повернуться на величину  $\frac{1}{z}$ , где  $z$  — число зубьев обрабатываемого колеса. Расчетное уравнение

$$1 \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{41}{41} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{z},$$

откуда  $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40}{z}.$

Вторая нежесткая кинематическая цепь (скольжение ремня, колебания частоты вращения электродвигателя) обеспечивает возвратно-поступательное движение инструментальной бабки от кулачка  $K$ , который с помощью ролика качает кулису  $K_1$  так, что когда вал  $II$  сделает один оборот, инструментальная бабка совершит одно возвратно-поступательное движение.

Расчетные перемещения:

720 об. в минуту  $\rightarrow z_m$  зубьев в минуту;

$$720 \frac{d_1}{d_2} \eta \frac{2}{48} = z_m, \text{ откуда } \frac{d_1}{d_2} \approx \frac{z_m}{30};$$

$$930 \frac{d_1}{d_2} \eta \frac{2}{48} = z_m, \text{ откуда } \frac{d_1}{d_2} \approx \frac{4z_m}{155},$$

где  $\eta$  — коэффициент скольжения ремня, равный 0,98.

Регулирование частот вращения шпинделя, несущего заготовку и движения инструментальной бабки, осуществляются переключением электродвигателя  $M2$  и сменой шкивов  $d_1$  и  $d_2$ .

Перемещением камня кулисы  $K_1$  можно изменять соотношение ее плеч и таким образом регулировать величину хода инструментальной бабки до 9,6 мм в направлении длины закругляемых зубьев при одном и том же профиле кулачка  $K$ .

При наладке станка заготовку с оправкой устанавливают в шпиндель или закрепляют в приспособлении так, чтобы радиальная ось симметрии зуба совпадала с осью фрезы в ее верхнем положении. Установочные перемещения при наладке станка осуществляют маховичком  $A$  посредством колес  $\frac{17}{25}$  и ходового винта с шагом  $t_2 = 3$  мм.

При обработке зубчатых колес с косыми зубьями верхнюю плиту бабки обрабатываемого колеса вместе с корпусом и обрабатываемым колесом устанавливают на угол, равный углу наклона зубьев колеса, с таким расчетом, чтобы пальцевая фреза двигалась вдоль длины зуба. Угол поворота устанавливают по шкале, нанесенной на салазках бабки. Кроме того, салазки вместе с бабкой винтом с шагом  $t_1 = 3$  мм смещают вдоль направляющих станка так, чтобы центр торцевой окружности колеса после поворота находился против оси фрезы. Величину смещения определяют по формуле

$$\Delta = (260 + l) \sin \beta,$$

где  $l$  — расстояние от плоскости стола до торца колеса, на котором закругляют зубья, мм; 260 — постоянное расстояние от горизонтальной оси поворота бабки до плоскости стола, мм;  $\beta$  — угол поворота плиты, град.

Глубину врезания в направлении длины зубьев устанавливают перемещением поворотной плиты 5 относительно стойки 4 (см. рис. 99). Величину перемещения поворотной плиты ограничивают упорами.

Станок оборудован системой охлаждения с электронасосом ( $N = 0,125$  кВт;  $n = 3000$  об/мин).

---

## ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

---

### ЗУБООТДЕЛОЧНЫЕ СТАНКИ

Современное машиностроение предъявляет все более повышенные требования к зубчатым передачам по прочности, надежности и долговечности. Это приводит к необходимости применения отделочных (финишных) технологических операций к боковым поверхностям зубьев нарезанных зубчатых колес. К зубоотделочным операциям относят обкатку, шевингование, притирку, зубохонингование и зубошлифование. Первые два технологических процесса применяют для незакаленных зубчатых колес, а последние два — для закаленных. Рассмотрим шевингование и шлифование боковых поверхностей зубьев

#### 1. ШЕВИНГОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Сущность процесса шевингования.** В качестве режущего инструмента применяют шеввер-рейку, дисковый и червячный шевверы. Изготовить шеввер-рейку трудно, применение ее ограничено — только при изготовлении мелкозубчатых колес.

На рис. 101, а показано зацепление дискового шеввера 1 с обрабатываемым колесом 2, а на рис. 101, б — схема установки шеввера и колеса, из которой видно, что шеввер установлен на станке под углом скречивания  $\phi$  между зубьями шеввера 1 и обрабатываемого колеса 2. Шеввер вращается от электродвигателя, а шевингуемое колесо принудительно вращается от него или наоборот. При совместном вращении ше-

вера и колеса, вследствие скрещивания их осей, возникает составляющая скорости скольжения профилей, направленная вдоль образующих зубьев; эта составляющая и есть скорость резания, при которой острые кромки канавок зубьев шевера срезают с поверхности зубьев очень тонкие стружки, снижая шероховатость. Шевингование дает возможность повысить точность зубчатых колес по нормам плавности и контакта.

Таким образом, при шевинговании необходимы следующие движения: вращение шевера и шевингуемого колеса, возвратно-поступательное перемещение колеса и перемещение его в радиальном направлении к шевру.

Принцип работы шевер-рейки показан на рис. 102, в. При возвратно-поступательном движении рейки 1 колесо 2, установленное свободно в центрах и прижимаемое с небольшим давлением к зубьям рейки, начинает перекашиваться по ней. Напряжение движения рейки не совпадает с направлением вращения колеса и образуется угол  $10-15^\circ$ . Это и вызывает относительное скольжение зубьев колес и рейки.

**Методы шевингования.** Применяют четыре основных метода шевингования: с продольной (рис. 102, а), диагональной (рис. 103, б), поперечной (рис. 102, в) и тангенциальной (рис. 102, г) подачами.

Шевингование с продольной подачей происходит параллельно оси шевингуемого зубчатого колеса. Этот метод наиболее универсален и широко применяется, хотя стойкость его ниже других методов шевингования вследствие неравномерного износа его зубьев.

Шевингование с диагональной подачей возможно на станках, допускающих возможность поворота центровых бабок относительно направляющих стола или направляющих шевинговальной бабки. Ше-

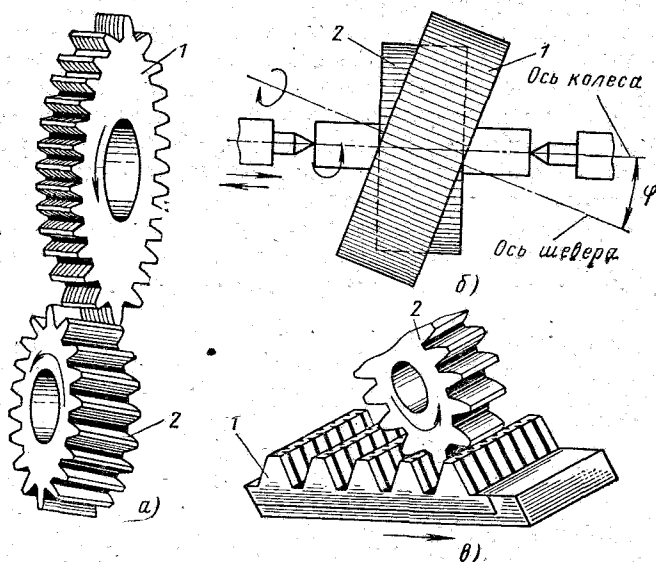


Рис. 101. Шевингование зубчатых колес

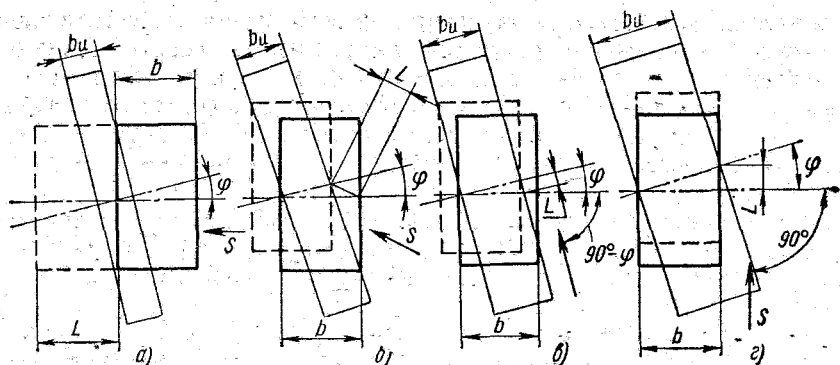


Рис. 102. Методы шевингования

вингование с диагональной подачей дает возможность сократить длину рабочего хода  $L$ , что приводит к уменьшению машинного времени, особенно при шевинговании узких зубчатых колес; шевинговать закрытые венцы с меньшей шириной канавки, так как за торцы колеса выходит небольшая часть ширины шевра  $b_u$  (3—5 мм); получить более равномерный износ шевра, что повышает его стойкость.

Шевингование с тангенциальной и поперечной подачами можно осуществить на тех станках, которые допускают поворот направляющих стола до  $90^\circ$  в плоскости, параллельной осям шевра и колеса. При шевинговании этими методами применяют безрадиальные подачи за один двойной ход, когда на шевингование оставлен небольшой припуск, а к шероховатости поверхности зубьев не предъявляют высоких требований, и радиальные подачи. Шевингование с тангенциальной и поперечной подачами дает возможность сократить длину рабочего хода, что уменьшает машинное время; уменьшить ширину канавки для выхода шевра при шевинговании зубчатых колес с закрытыми венцами (с буртами); получить более равномерный износ зубьев шевра по их длине; создать сквозной поток движения колес, что особенно необходимо для встройки в автоматические линии.

Шевингование зубчатого колеса 2 осуществляют шеввер-рейкой 1 (см. рис. 101, в). При возвратно-поступательном движении шеввер-рейки находящегося в зацеплении с ним обрабатываемое зубчатое колесо вращается.

**Классификация шевинговальных станков.** Шевинговальные станки делят на 1) станки с вертикальным расположением как оси режущего инструмента (шевера), так и обрабатываемого зубчатого колеса и 2) станки с горизонтальным расположением осей режущего инструмента (шевера) и шевингуемого зубчатого колеса.

Станки с горизонтальной осью обрабатываемого колеса изготовляют с верхним и задним расположениями шевинговальной головки. На станке первого типа шевинговальную головку поворачивают для установки угла скрещивания  $\varphi$  относительно вертикальной оси, которая пересекает ось центров бабок колеса, а на станке второго типа

шевинговальную головку поворачивают на угол  $\varphi$  относительно горизонтальной оси, пересекающей ось центров бабок.

Продольную подачу в этих станках осуществляют вдоль оси центров бабок. Радиальную подачу получают за счет подъема консоли или поперечным перемещением стойки. В этих станках шеввер обычно является ведущим.

В табл. 14 приведены технические характеристики некоторых зубошевинговальных станков.

Таблица 14

Технические характеристики зубошевинговальных станков

Параметр	Станки горизонтального типа			Станки вертикального типа		
	5702	5A714	5715	5A702	5704 (B)	5717
Размеры обрабатываемого колеса, мм:						
диаметр	36—320	До 320	До 350	20—320	50—500	200—1250
модуль	1,5—6	До 6	До 8	1—6	1—8	2—10,5
ширина	100	100	100	110	125	200
Наибольший диаметр шеввера, мм	280	240	250	250	280	280
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3,0	2,8	2,8	3,0	4,0	5,5
Габариты станка (длина × высота), мм	1675 × 1240	1250 × 1400	1660 × 1500	2000 × 1250	2250 × 1165	3080 × 2690
Масса, кг	4700	4000	2500	3900	4500	7800

**Шевинговальный станок мод. 5702 (рис 103).** На станке можно шевинговать цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями наружного и внутреннего зацепления. Для шевингования зубчатых колес с внутренним зацеплением станок оснащают специальной шевинговальной головкой и бабкой. На станке можно шевинговать колесо до диаметра 320 мм, наибольшей ширины 100 мм и модуля до 6 мм. Наибольший диаметр шеввера 280 мм.

Станина 1 сложной формы имеет внизу плиту, которая служит основанием станка, а верхняя часть — стойкой. Стойка имеет плоскость, в которой крепят основание 5, а к нему монтируют шевинговальную головку 4. Внизу станины имеются вертикальные направляющие, к которым прижимается консоль 2 с механизмом продольной и поперечной подачи. По горизонтальным направляющим консоли может перемещаться стол 3, на верхней части которого расположены баки. Станок гидрофицирован.

**Кинематическая схема станка (рис. 104).** Она состоит из двух независимых кинематических цепей: привода шеввера и подачи стола (продольной и поперечной).



Главное движение (вращение шевера). От электродвигателя  $M1$  ( $N = 3,0$  кВт;  $n = 1365$  об/мин) приводится во вращение червячная передача  $\frac{3}{28}$ , сменные колеса гитары скоростей  $\frac{a}{b}$ , конические колеса  $\frac{30}{32}$   $\frac{32}{30}$ , цилиндрические колеса  $\frac{35}{30}$   $\frac{30}{36}$ , шевер.

Расчетные перемещения  
 $1365 \text{ об/мин} \rightarrow n_{\text{ш}} \text{ об/мин};$

$$1365 \frac{3}{28} \frac{a}{b} \frac{30}{32} \frac{32}{30} \frac{35}{30} \frac{30}{36} = n_{\text{ш}},$$

откуда

$$\frac{a}{b} = \frac{n_{\text{ш}}}{142},$$

где  $n_{\text{ш}}$  — частота вращения шевера, об/мин.

Шевер станка имеет десять ступеней скорости в диапазоне 50—400 об/мин, настраиваемых посредством сменных зубчатых колес.

**Гитара продольной подачи.** Под продольной подачей  $s_{\text{пр}}$  понимают величину перемещения стола в продольном направлении за один оборот шевенгуемого колеса. Следовательно, минутная подача стола будет  $s_{\text{м}} = s_{\text{пр}} n_{\text{а}}$ , где  $n_{\text{а}}$  — частота вращения заготовки, об/мин.

От электродвигателя  $M2$  ( $N = 0,6$  кВт,  $n = 1320$  об/мин) приводится во вращение червячная передача  $\frac{1}{30}$ , сменные колеса  $\frac{a_1}{b_1}$ , конические колеса  $\frac{15}{45}$   $\frac{24}{32}$ , ходовой винт стола продольной подачи с шагом  $t = 6$  мм.

Расчетные перемещения

$1320 \text{ об/мин} \rightarrow s_{\text{м}} \text{ мм/мин};$

$$1320 \frac{1}{30} \frac{a}{b} \frac{15}{45} \frac{24}{32} 6 = s_{\text{м}},$$

откуда  $\frac{a}{b} = \frac{s_{\text{м}}}{66}.$

Привод продольных подач с помощью сменных колес обеспечивает 13 подач в диапазоне 18—300 мм/мин.

**Настройка станка на радиальную подачу.** Радиальной подачей называют периодическое перемещение стола в вертикальном направлении после каждого рабочего хода, осуществляемое гидравлически. Перемещение консоли стола происходит от гидроцилиндра  $Ц1$  через

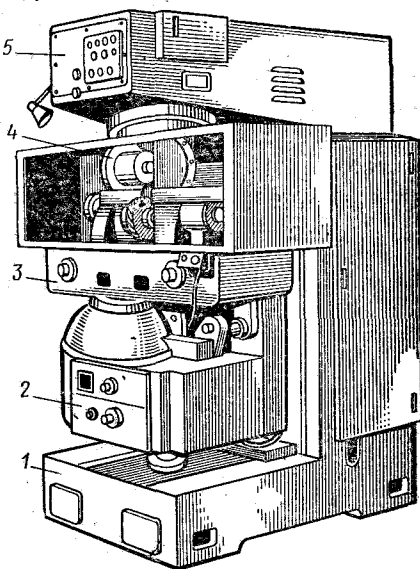
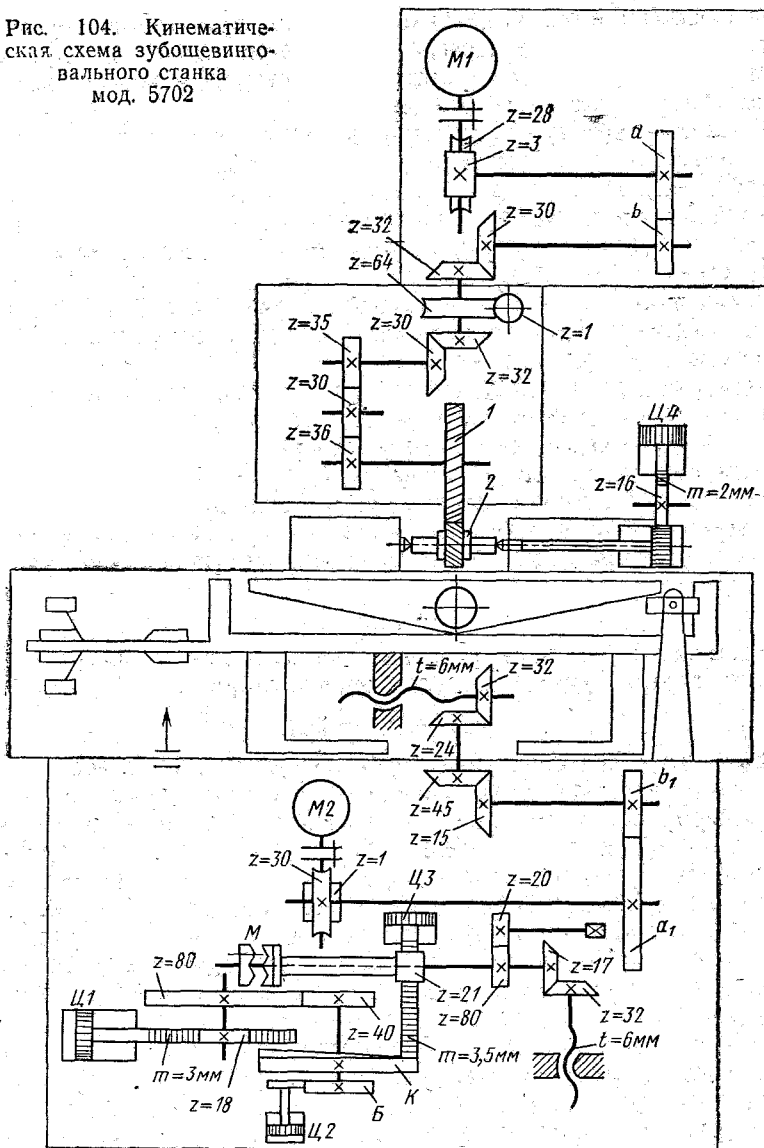


Рис. 103. Зубошвинговальный станок мод. 5702

Рис. 104. Кинематическая схема зубошпиндельного станка мод. 5702



реечную и зубчатую  $\left(\frac{80}{40}\right)$  передачи, кулак  $K$ , реечную передачу с колесом  $z = 21$ , муфту  $M$ , коническую передачу  $\frac{17}{32}$  и вертикальный винт с шагом  $t = 6$  мм. Это же перемещение возможно осуществить и вручную при разомкнутой муфте. Радиальные подачи могут изменять в пределах  $0,02-0,1$  мм/ход.

**Настройка и наладка станка.** Наладка и настройка станка предусматривают установку шевера на шпиндель, выбор и установку вели-

чины радиальной подачи, установку длины хода стола, согласование направления вращения шевера и движение стола, установку угла поворота шевинговальной головки, установку межосевого расстояния. Рассмотрим кратко некоторые из них.

**Установка шевера на шпиндель.** При шевинговании колес без бурта шевер устанавливают так, чтобы его калибрующее сечение располагалось посередине длины шевера. Для такой установки при нормальной ширине шевера (20 мм) применяют кольца шириной 5 и 10 мм. При шевинговании колес с буртом калибрующее сечение смещают от его середины к торцу.

**Установка величины радиальной подачи.** Ее выбирают в зависимости от обрабатываемого материала колеса и требуемой шероховатости боковой поверхности зуба.

**Установка длины хода стола.** Длину хода стола  $\Delta$  определяют по формуле  $\Delta = b + a$ , где  $b$  — ширина зуба шевингуемого колеса;  $a = 2 \div 4$  мм — величина перебега шевера.

**Установка угла поворота шевера.** При шевинговании прямозубых колес угол скрещивания  $\varphi$  равен углу наклона спирали шевера  $\beta_{ш}$ . При шевинговании колес с косыми зубьями, когда направления винтовых линий шевера и шевингуемого колеса противоположны, угол скрещивания

$$\varphi = \beta_k - \beta_{ш}$$

В том случае, когда направления винтовых линий шевера и шевингуемого колеса одинаковы, угол скрещивания

$$\varphi = \beta_k + \beta_{ш}$$

где  $\beta_k$  — угол винтовой линии зуба шевингуемого колеса.

**Зубохонингование цилиндрических зубчатых колес.** В условиях крупносерийного и массового производства применяют высокопроизводительный технологический процесс отделки поверхностей зубьев закаленных зубчатых колес — зубохонингование. Процесс зубохонингования кинематически подобен шевингованию зубьев, но инструмент 1 (рис. 105) представляет собой абразивное колесо (хон), изготовляемое из специальных пластмасс, перемешанных с абразивным порошком, того же модуля, что и обрабатываемая деталь 2. Обработку ведут на больших окружных скоростях при постоянном давлении между профилями зубьев колеса и инструмента, имеющих скрещенные оси под углом  $\varphi$ .

Применением процесса зубохонингования достигают уменьшения шероховатости поверхности зубьев шевингованных колес 7—8-й степеней точности до  $Ra = 0,63 \div 0,16$  мкм и шлифованных до  $Ra = 0,16 \div 0,04$  мкм; понижения уровня шума передачи; повышения прочности колес; увеличения производительности зубообработки за счет повышения режимов предварительной обработки с последующим зубохонингованием.

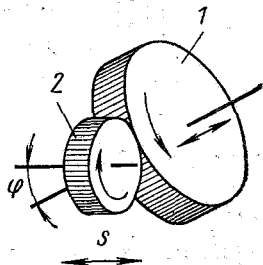


Рис. 105. Кинематика процесса зубохонингования

Так как жесткая кинематическая связь между инструментом и обрабатываемым колесом отсутствует и мала величина снимаемого слоя металла, то самостоятельного образования геометрии зубчатого венца при этом процессе достичь невозможно, а возможно только уменьшить те отклонения, которые были получены при предварительной обработке.

Процесс зубохонингования применяют для обработки зубчатых колес с модулем  $m = 2 \div 6$  мм,  $d = 30 \div 500$  мм и  $b = 150$  мм, при этом точность обработки повышается на одну степень, шероховатость уменьшается, общий уровень шума снижается на 2—4 дБ. При зубохонинговании зубчатых колес возможно снятие припуска до 0,05 мм на сторону зуба.

Для осуществления процесса зубохонингования применяют зубохонинговальные станки, большинство которых имеют горизонтальную компоновку.

## 2. ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Зубошлифование, применяемое для окончательной отделки профилей закаленных зубчатых колес, — операция сложная и дорогая. При термической обработке зубчатых колес профили их зубьев искажаются. Для устранения этого и других дефектов применяют шлифование, которое дает возможность получить зубчатые колеса 3—7-й степени точности и нужную шероховатость. При шлифовании цилиндрических зубчатых колес в станкостроении рабочие поверхности зубьев зубчатых колес должны иметь следующую шероховатость поверхности: для 4—5-й степени точности  $Ra = 0,2 \div 0,6$  мкм (8—9-й классы); для 6—7-й степени точности  $Ra = 0,8 \div 1,4$  мкм (7-й класс).

**Основные методы зубошлифования.** Зубошлифование может осуществляться методом копирования с помощью фасонного шлифовального круга методом обкатки. По методу копирования шлифуют только цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями, а по методу обкатки — цилиндрические и конические зубчатые колеса. При зубошлифовании копированием шлифовальному кругу придают с помощью алмазов профиль, соответствующий профилю впадины шлифуемого зубчатого колеса (рис. 106, а). Такой круг обрабатывает одновременно обе боковые поверхности двух соседних зубьев, переходную поверхность и впадину.

Шлифовальный круг совершает вращательное движение, шлифуемое колесо перемещается вдоль направления зуба. После того как впадина зуба будет прошлифована, шлифуемое колесо отводят от шлифовального круга в исходное положение и с помощью делительного устройства поворачивают шлифуемое колесо на один зуб, после чего шлифуют следующую впадину.

Основным преимуществом метода копирования является более высокая производительность по сравнению с методом обкатки. К недостаткам этого метода следует отнести прежде всего необходимость применения сложных приспособлений для правки шлифовального круга. Так, например, в станке «Оркут» для одновременной правки обеих сто-

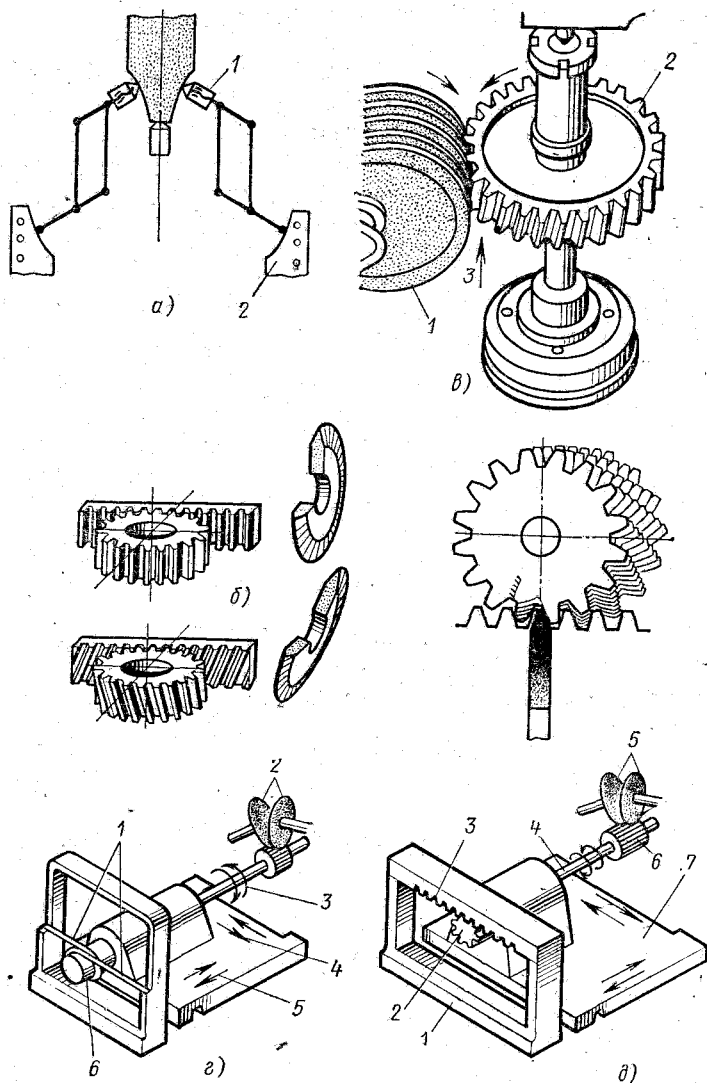


Рис. 106. Методы зубошлифования

рон круга применяют три алмаза. Эти алмазы 1 при движении направляются пантографами от специальных сменных шаблонов 2. Шаблоны имеют профили шлифуемого зуба, увеличенного в несколько раз. Для каждого модуля, числа зубьев и угла зацепления шлифуемого колеса необходимо иметь свой шаблон. Смена шаблонов занимает много времени.

Зубошлифовальные станки, работающие по методу копирования, вследствие сложности их наладки, применяют только в крупносерийном производстве, в основном при шлифовании прямозубых колес.

К их числу следует отнести модели следующих станков: 586, 586А, 5860А, 5861, 5861 и др.

Метод обкатки состоит в том, что в процессе шлифования зубчатого колеса воспроизводятся те движения, которые имеются при зацеплении зубчатого колеса с рейкой, червяка и червячного колеса (рис. 106, б, в, г, д). Торцовые поверхности шлифовальных кругов входят в плоскости боковых зубьев воображаемой рейки. По этой рейке при шлифовании катится без скольжения шлифуемое колесо. Оно совершает поступательное и вращательное движения, при которых шлифуется один зуб. После этого необходимо отвести шлифуемое колесо от шлифовального круга (кругов) и повернуть его с помощью делительного устройства на следующий зуб. Между шлифуемым профилем колеса и шлифовальным кругом теоретически существует линейный контакт, в действительности шлифование происходит по узким поверхностям. Поэтому в работе участвует небольшое число абразивных зерен, чем и объясняется низкая производительность зубошлифовальных станков, работающих по методу обката. Основное преимущество метода огибания состоит в том, что можно получить почти теоретически правильную эвольвентную форму профиля зуба при простой форме шлифовального круга.

На рис. 106, б показана принципиальная схема шлифования зубьев цилиндрических колес шлифовальным кругом, имеющим в поперечном сечении профиль зуба прямой или косозубой рейки. Зубчатые рейки, по которым в процессе шлифования шлифуемое колесо вращается и движется поступательно, являются воображаемыми, но они показаны в виде дисковых шлифовальных кругов, представляющих собой зуб производящей рейки. Следовательно, для шлифования цилиндрических колес необходимо иметь следующие движения: вращение шлифовального круга, движение обкатки (вращательное и поступательное движение заготовки), продольное перемещение шлифовального круга вдоль направления зуба и деление заготовки.

Зубошлифовальные станки, работающие по этому принципу, делят на две группы: 1) с раздельным шлифованием профиля впадины между зубьями и 2) с одновременным шлифованием обоих профилей впадины между зубьями. Станок, работающий одновременно двумя сторонами конусного круга, повышает производительность на 20—50%.

По первому методу работают станки мод. 5831, ZSTZ 315 × 6 фирмы Найлс (ГДР) и др., по второму — мод. 5841, 5842 и др.

На рис. 106, в показано шлифование зубчатого колеса 2 абразивным червяком 1 большого диаметра при одновременном вертикальном перемещении 3 шлифуемого колеса.

Схема шлифования с обкатным барабаном, равным диаметру основной окружности шлифуемого колеса, приведена на рис. 106, г. К барабану 6 одним концом прикреплены ленты 1, а вторые концы их закреплены на неподвижной раме. При возвратно-поступательном движении 4 каретки шпиндель с установленным на нем шлифуемым зубчатым колесом и обкатным барабаном 6 поворачивается относительно своей оси, совершая движение 3. Продольное перемещение 5 шлифуемого колеса вдоль своей оси является продольной подачей и про-

исходит медленно. Профили шлифовальных кругов 2 имеют тарельчатую форму, шпиндели их установлены под углом так, что тарельчатые формы шлифовальных кругов образуют зуб рейки в  $40^\circ$  или  $30^\circ$ . В новых моделях подобных станков шпиндели, несущие шлифовальные круги, устанавливаются горизонтально.

На рис. 106, д показана схема шлифования с помощью эталонного колеса и рейки. На заднем конце шпинделя 4 установлена эталонное зубчатое колесо 2, делительный диаметр которого равен диаметру шлифуемого колеса 6. На каретке 1, смонтированной на вертикальных скалках, закреплена эталонная рейка 3, находящаяся в беззазорном зацеплении с зубьями эталонного колеса. При поперечном перемещении каретки 7 и качении эталонного колеса 2 по рейке 3 шлифуемое колесо 6 совершает движение обкатки. Делительный поворот на один зуб происходит при выведении из зацепления с эталонным колесом рейки. Вследствие отсутствия продольной подачи производительность при шлифовании сравнительно узких колес высокая, так как используют шлифовальные круги 5 больших диаметров.

В табл. 15 приведены характеристики некоторых моделей зубошлифовальных станков отечественного производства.

Таблица 15

Характеристики зубошлифовальных станков для цилиндрических колес

Основные показатели	5А832, 5В832	5В833	5831	5841	5851
Диаметр обрабатываемого колеса, мм	20—200	40—320	30—320		35—320
Модуль обрабатываемого колеса, мм	0,3—1,25	0,5—4	1,5—6	1,5—8	2—10
Наибольшая ширина обрабатываемого колеса с прямыми зубьями, мм	100	150		100	220
Число зубьев обрабатываемого колеса		12—200		10—200	10—120
Наибольший угол наклона зубьев обрабатываемого колеса, град			$\pm 45$		
Наибольшие размеры шлифовального круга (диаметр $\times$ ширина), мм	400 $\times$ 63	400 $\times$ 80	250 $\times$ 16	350 $\times$ 20	165 $\times$ 225
Вид шлифовального круга	Червячный		Конический		Два тарельчатых
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1500		2575		210—3345
Мощность электродвигателя привода шлифовального круга, кВт	3/4,1	4	1,1	0,6	0,75 $\times$ 2
Габаритные размеры станка, мм:					
длина	2180, 2110	2400	2390	1985	3170
ширина	2180, 2450	2500	2110	2170	1820
высота	1940, 1985	2040	2990	2300	1950
Масса, кг	6500, 6000	8180	4750	4450	5500

### 3. ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЙ СТАНОК МОД. 5831

На станке (рис. 107) шлифуют цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями до диаметра 320 мм и наибольшего модуля 6 мм. По горизонтальным направляющим станины 1 станка может перемещаться суппорт 2 с круглым столом 3, на котором размещают шлифуемое колесо. Перпендикулярно станине 1 примыкает другая станина с направляющими, по которым может перемещаться стойка 5, несущая ползун 4 с электродвигателем и шлифовальной бабкой 6. Шлифовальный круг правят с помощью механизма.

**Цикл работы станка.** Прежде всего отметим, что толщина рабочей части шлифовального круга меньше ширины шлифуемой впадины, поэтому шлифование боковых поверхностей впадины происходит отдельно в следующей последовательности (рис. 108). В начале цикла (положение I) происходит шлифование левого профиля зуба первой впадины при движении обкатки, т. е. при вращении шлифуемого колеса против часовой стрелки и поступательного его перемещения слева направо, затем происходит изменение направления движения обкатки (положение II) с одновременным перемещением продольной каретки суппорта на величину, равную разности между шириной впадины зуба и толщиной круга; шлифование правого профиля зуба первой

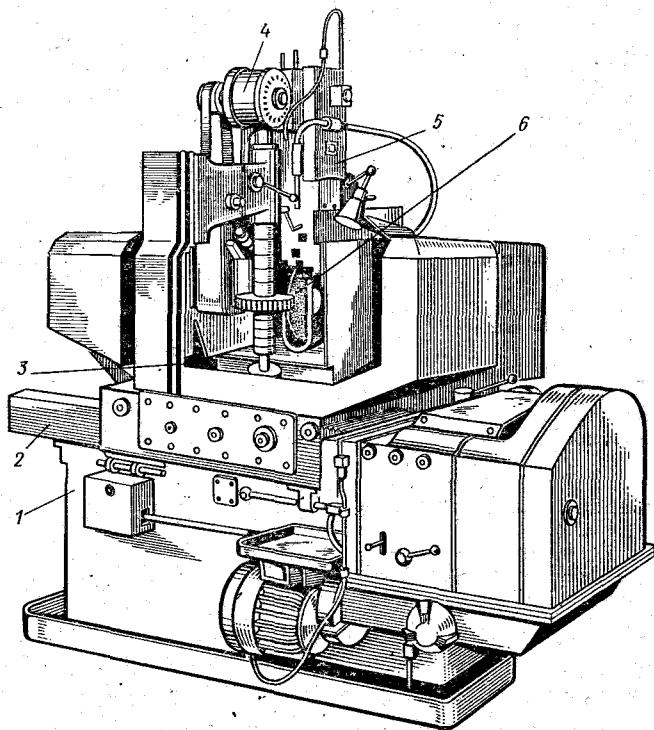


Рис. 107. Зубошлифовальный станок мод. 5831



впадины (положение III), шлифуемое колесо вращается по часовой стрелке и движется поступательно справа налево. Затем происходит радиальный отвод шлифовального круга (положение IV), поворот шлифуемого колеса на один зуб, перемещение шлифовального круга в рабочее положение V, изменение направления движения обкатки в одновременным перемещением продольной каретки суппорта на величину, равную разности между шириной впадины зуба и толщиной шлифовального круга. И, таким образом, начинается шлифование впадины второго зуба, затем третьего и т. д. По окончании шлифования всех зубьев колеса станок автоматически останавливается.

**Кинематическая схема станка мод. 5831 (рис. 109).** Станок имеет следующие кинематические цепи: главного движения, подачи шлифовального круга, обкатки, деления и вспомогательные.

**Главное движение.** Шлифовальный круг 2 диаметром 240 мм получает вращательное движение от электродвигателя  $M1$  ( $N=0,6$  кВт;  $n=2800$  об/мин), расположенного на том же ползуне, что и шлифовальная бабка, посредством педаль-  
 68  
 80

Частота вращения шлифовального круга

$$n = 2800 \cdot \frac{68}{80} \cdot 0,985 = 2350 \text{ об/мин}$$

Скорость резания (шлифования)

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} = \frac{\pi 240 \cdot 2350}{1000 \cdot 60} = 30 \text{ м/с.}$$

**Продольное перемещение шлифовального круга.** Ползун вместе со шлифовальным кругом получает возвратно-поступательное движение от трехскоростного электродвигателя  $M2$  в частотах вращения 750, 1500 и 3000 об/мин, двухскоростную коробку  $\frac{22}{75}$  или  $\frac{29}{68}$ , далее

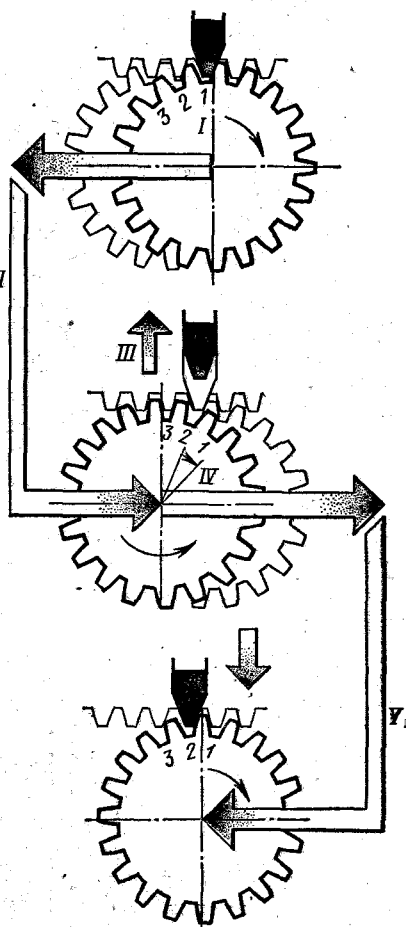
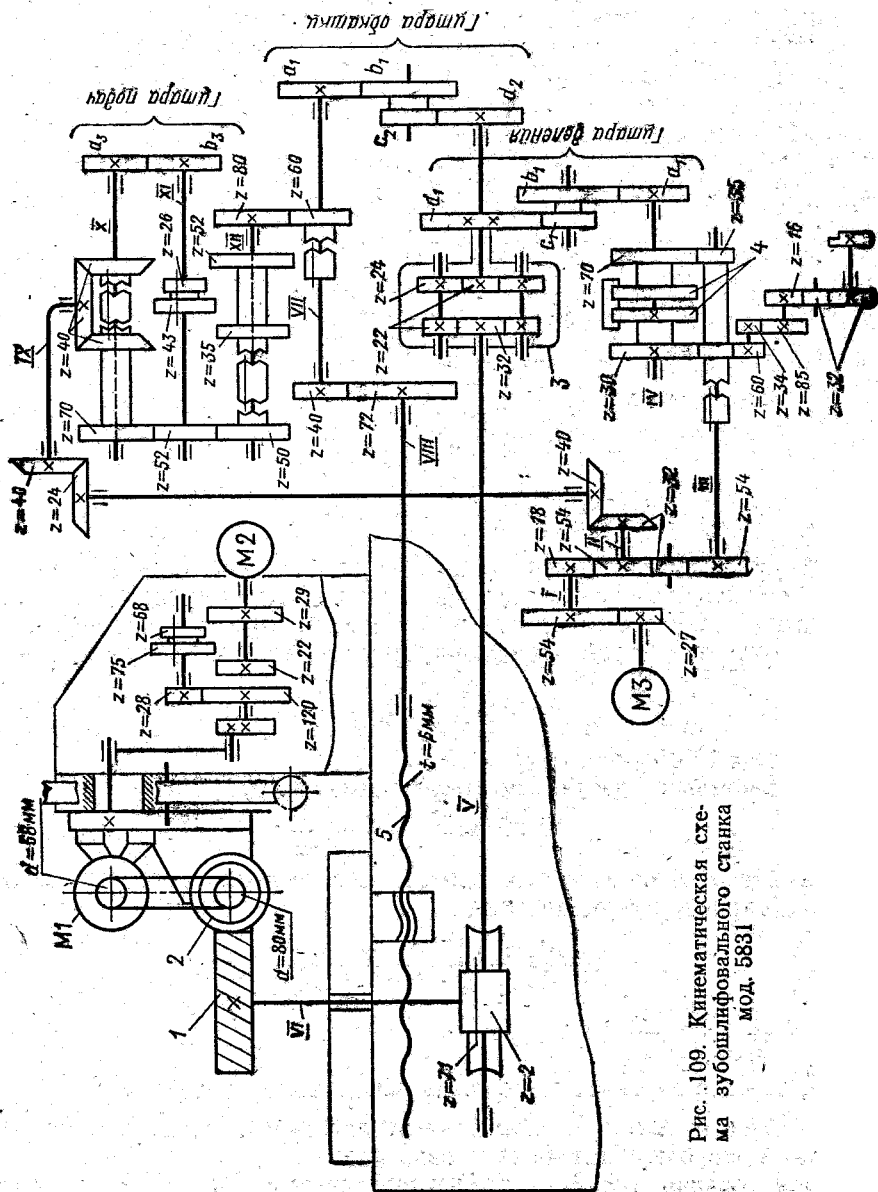


Рис. 108. Цикл работы станка мод. 5831



через постоянную передачу  $\frac{28}{120}$  приводится во вращение кривошипный диск, с помощью которого происходит преобразование вращательного движения в поступательное шлифовального круга.

Числа двойных ходов ползуна бабки шлифовального круга будут: 51,4; 75; 102,8; 150; 205,6 и 300 дв. ход/мин.

**Движение обкатки.** Кинематическая цепь, связывающая поступательное перемещение шлифуемого колеса 1 с его вращением: перемещение шлифуемого колеса от ходового винта 5 с шагом  $t = 6$  мм, передача  $\frac{72}{40}$ , вал VII, сменные колеса гитары обкатки  $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2}$ , колеса планетарной передачи  $\frac{22}{24} \frac{22}{32}$ , вал V, червячная передача стола  $\frac{2}{71}$ , шпиндель VI, шлифуемое колесо. Расчетные перемещения таковы: когда шлифуемое колесо переместится поступательно на шаг шлифуемого колеса  $\pi t$ , то колесо должно повернуться на величину  $\frac{1}{z_{ш}}$ .

Расчетное уравнение

$$\frac{\pi t}{6} \frac{72}{40} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{22}{24} \frac{22}{32} \frac{2}{71} = \frac{1}{z_{ш}},$$

откуда  $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{59,7686}{z_{ш} t}.$

**Гитара деления.** Поворот шлифуемого колеса на один зуб происходит от делительного механизма с западающей планкой 3 и однопазовыми делительными дисками 4. Найдем частоту вращения вала III, в течение которой происходит процесс деления по формуле

$$n = \left( \frac{30}{75} - \frac{35}{70} \right) = 1,$$

откуда  $n = 10$  оборотов.

Следовательно, расчетными перемещениями будут

$$10 \text{ об. вала III} \rightarrow \frac{1}{z_{ш}}.$$

Расчетное уравнение для определения передаточного отношения сменных колес гитары деления

$$10 \frac{30}{75} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{71}{192} \frac{2}{71} = \frac{1}{z_{ш}},$$

откуда  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24}{z_{ш}},$

где  $\frac{71}{192}$  — передаточное отношение планетарной передачи.

Зубчатое колесо  $d_1$  посажено на втулке барабана планетарной передачи, а барабан сидит на валу свободно.

**Цепь подачи стола.** От электродвигателя МЗ ( $N = 1,7$  кВт,  $n = 1420$  об/мин) движение передается через передачу  $\frac{27}{54}$ , вал I, передачи  $\frac{18}{54} \frac{32}{40}$ , вал VIII, коническую передачу  $\frac{24}{40}$ , вал IX, колеса  $\frac{40}{40}$ ,

вал X, сменные колеса  $\frac{a_3}{b_3}$ , вал XI, коробку на две скорости  $\frac{26}{52}$  и  $\frac{43}{35}$ , вал XII, передачу  $\frac{80}{60}$ , вал VII, передачу  $\frac{40}{72}$ , ходовой винт с шагом 6 мм.

Для чернового режима принимают колеса  $\frac{43}{35}$ , а чистового — колеса  $\frac{26}{52}$ .

Расчетное уравнение для чистового режима шлифования

$$1420 \frac{27}{54} \frac{18}{54} \frac{32}{40} \frac{24}{40} \frac{a_3}{b_3} \frac{26}{52} \frac{80}{60} \frac{40}{72} 6 = s \text{ мм/мин},$$

откуда  $\frac{a_3}{b_3} = \frac{s}{213}.$

#### 4. ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЙ СТАНОК МОД. 5841

На станке шлифуют кругом, имеющим в радиальном сечении прямо-боочный профиль, и тем самым воспроизводят зуб производящей рейки. На станке шлифуют цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями диаметром до 320 мм и наибольшим модулем до 6 мм.

**Кинематическая схема станка мод. 5841** (рис. 110). Станок имеет следующие кинематические цепи: главного движения, подачи шлифовального круга, обкатки, деления и вспомогательные.

**Главное движение.** Шлифовальный круг диаметром 250 мм получает вращение от электродвигателя M1 ( $N = 0,6$  кВт;  $n = 2850$  об/мин), расположенного на том же ползуне, что и шлифовальная бабка, посредством передачи  $\frac{d_1}{d_2}$ .

**Продольное перемещение шлифовального круга.** Ползун вместе со шлифовальным кругом получает возвратно-поступательное движение от регулируемого электродвигателя постоянного тока M2 ( $N = 4,5$  кВт;  $n = 1500$  об/мин), далее через передачи  $\frac{37}{65} \frac{41}{120} \frac{35}{35}$  приводится во вращательное движение кривошипный диск, с помощью которого происходит преобразование вращательного движения в поступательное.

Найдем наибольшее число двойных ходов круга

$$n_{\max} = 1500 \frac{37}{65} \frac{41}{120} \frac{35}{35},$$

откуда  $n_{\max} = 290$  дв/ход. мин.

Для отвода шлифовального круга от заготовки предусмотрен электродвигатель M4 ( $N = 0,5$  кВт;  $n = 1410$  об/мин). Отвод шлифовального круга от заготовки происходит от того, что вал кривошипного диска  $K_d$  расположен эксцентрично в диске поворота  $D_0$ , при повороте которого посредством передачи  $\frac{24}{124}$  ползун поднимается вверх. Величину отвода регулируют упорами, расположенными на барабане и воздействующими на конечный выключатель ВК2. Этот ба-



Рис. 110. Кинематическая схема зубо-шлифовального станка мод. 5841

рабан приводят во вращение от электродвигателя *М4* посредством передачи  $\frac{24}{58}$ .

**Движение обкатки.** Вращательное и поступательное перемещение шлифовального круга связывают сменными колесами гитары обкатки  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$  так, что когда шлифуемое колесо переместится на величину  $\pi m$ , оно должно повернуться на величину  $\frac{1}{z_{ш}}$ . Следовательно, валы *VIII* и *IX* должны быть связаны сменными колесами гитары обкатки:

$$\frac{\pi m}{2\pi} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{1}{96} = \frac{1}{z_{ш}},$$

откуда  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{192}{m_{ш}}$ .

**Делительное движение.** Поворот заготовки на один зуб шлифуемого колеса, как и движение обкатки, осуществляют от электродвигателя *М3* ( $N = 1,5$  кВт;  $n = 1420$  об/мин) на вал *I*, колеса  $\frac{22}{76}$ , вал *II*, колеса  $\frac{38}{88}$ , вал *III*, колеса  $\frac{46}{134}$ , вал *IV*, делительный механизм с делительными дисками *D1* и *D2*, сменные колеса гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ , вал *VI*, колеса  $\frac{97}{35}$ , вал *VII*, колеса  $\frac{35}{97}$ , вал *VIII*, сменные колеса гитары огибания  $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}$ , вал *IX*, червячная передача стола  $\frac{1}{96}$ , поворот шлифуемого колеса.

Особо следует отметить, что ходовой винт с шагом  $t_1 = 2\pi$  и гайка *Г* будут вращаться с одинаковыми скоростями и в одном направлении, поэтому во время процесса деления заготовка не будет перемещаться, она будет только вращаться. Во время деления муфта *М<sub>1</sub>* выключается.

Делительный механизм работает следующим образом. Электромагнит *Э1* рычагом деления *Е* накидывает собачку *С* на непрерывно вращающееся храповое колесо  $z=4$  и тем самым приводит во вращение диск *D1* и вал *VI*. Через передачу  $\frac{40}{80}$ , вал *V*, колеса  $\frac{48}{72}$  приводится во вращение диск *D2*. Колеса  $z = 80$  и  $z = 48$  составляют блок, который свободно посажен на валу *V*. Когда делительный диск *D2* сделает один оборот, диск *D1* сделает три оборота. Диск *D2*, воздействуя на рычаг *Е*, отведет собачку *С* от храпового колеса  $z = 4$  и зафиксирует положение диска *D1*. Цепь деления снабжена постоянно действующим тормозом.

Следовательно, для настройки гитары деления расчетными перемещениями будут:

3. об. делительного диска *D1*  $\rightarrow \frac{1}{z_{ш}}$  об. заготовки.

Уравнение для определения передаточного отношения сменных колес гитары деления

$$3 \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{97}{35} \frac{35}{97} \frac{192}{mz_{III}} \frac{1}{96} = \frac{1}{z_{III}}, \text{ откуда } \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{m}{6}.$$

Цепь подачи стола. От электродвигателя МЗ движение передается на вал I, колеса  $\frac{22}{76}$ , вал II, сменные колеса гитары подачи стола  $\frac{a_2}{b_2}$ , вал III, колеса  $\frac{38}{88}$ , вал X, муфту М<sub>1</sub> (включена), передачу  $\frac{42}{92}$  или  $\frac{67}{67}$  (первая передача для чистового режима, вторая — для чернового), вал VII, передачу  $\frac{35}{97}$ , ходовой винт с шагом  $t_1 = 2\pi$ .

Расчетными перемещениями будут:

1420 об/мин электродвигателя  $\rightarrow s$  мм/мин стола;

$$1420 \frac{22}{76} \frac{a_2}{b_2} \frac{38}{88} \frac{42}{92} \frac{35}{97} 2\pi = s,$$

откуда  $\frac{a_2}{b_2} = \frac{s}{450}$  при включении передачи  $\frac{67}{67}$ .

## 5. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЙ СТАНОК МОД. 5851

Станок работает двумя тарельчатыми кругами в автоматическом цикле по методу обкатки (см. рис. 106, з) при единичном делении и предназначен для шлифования эвольвентного профиля цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями. На этих станках можно обрабатывать колеса с фланкированными и бочкообразными зубьями.

Шлифовальные круги тарельчатой формы работают узкой кромкой, имеют малую поверхность контакта с поверхностью шлифуемого зуба, что способствует снижению теплообразования в зоне резания и прижогов. Станки обеспечивают точность обработки не ниже 4-й степени по ГОСТ 1643—72.

### Краткая техническая характеристика

Размеры шлифуемого колеса, мм:

диаметр . . . . .	35—320
наибольшая ширина при $\beta=0$ . . . . .	220
Модуль, мм . . . . .	2—10
Число зубьев шлифуемого колеса . . . . .	10—120
Наибольший диаметр шлифовального круга, мм . . . . .	275
Угол наклона зубьев $\beta$ , град . . . . .	45
Мощность электропривода главного движения, кВт . . . . .	0,6

На рис. 111 приведен общий вид универсального зубошлифовального станка мод. 5851. При поперечном перемещении в обе стороны верхней каретки 10, несущей на себе делительную бабку 5, между центром которой и центром задней бабки располагают шлифуемое колесо 6, обкатной барабан 3 вместе с колесом поворачивается обкатными стальными лентами относительно своей оси. Для этого один конец

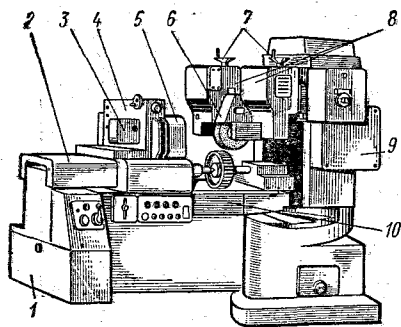


Рис. 111. Универсальный зубошлифовальный станок мод. 5851

обкатных лент закрепляют на барабане 3, а второй — на стойке 4. Шлифуемое колесо 6 вместе с поперечной кареткой 10 и продольной кареткой 2 перемещается возвратно-поступательно вдоль своей оси по направляющей станины 1, с тем чтобы обеспечить шлифование зуба по всей длине. На стойке 9 расположены шлифовальные бабки 8, которые могут перемещаться в вертикальном направлении от маховичков 7 и приводить во вращение ходовые винты. Шлифовальные круги устанавливают вручную на углы зацепления и наклона винтовой линии шлифуемого зуба.

В станке предусмотрены следующие основные кинематические цепи: главного движения, движения обкатки, движения продольной подачи, деления и ряда вспомогательных.

Главное движение обеспечивают электродвигателем, установленным на шпиндельных бабках, и от него посредством ременной передачи вращение передают на шпиндель шлифовального круга. Обе шлифовальные бабки одинаковые. Движение обката обеспечивают отдельным электродвигателем ( $N = 0,45 \div 0,6$  кВт;  $n = 1390 \div 2820$  об/мин), от которого движение передают через трехступенчато-шкивную, червячную и ременную передачи на кривошипный диск. С помощью кривошипного диска верхней каретке в поперечном направлении сообщают возвратно-поступательное перемещение. Величину поперечного перемещения обычно вычисляют по кривым для заданного модуля, числу зубьев шлифуемого колеса и углу зацепления для обеспечения необходимого угла поворота шлифовального колеса.

Продольное перемещение шлифуемого колеса обеспечивают гидравлическим приводом при бесступенчатом регулировании скорости. Поворот шлифовального колеса обеспечивают делительным диском, расположенным на переднем конце шпинделя делительной бабки. Число пазов делительного диска должно быть равно или кратно числу зубьев шлифуемого колеса.

Правка шлифовального круга может быть ручной или автоматической. При работе в автоматическом цикле периферия круга правится непрерывно, а торец шлифовального круга — по команде. Кроме того, имеется кинематическая цепь перемещения круга для компенсации износа по торцу. Все эти механизмы расположены в шлифовальных бабках.

## 6. ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЙ ПОЛУАВТОМАТ МОД. 5В833

Полуавтомат (рис. 112) предназначен для шлифования абразивным червяком по методу обкатки цилиндрических зубчатых колес с прямыми и косыми зубьями, а также для шлифования долбяков, шеверов и накатников. Зубчатые колеса модулем до 0,8 мм можно



шлифовать без предварительного нарезания зубьев.

На станине 1 станка размещены основные узлы; она имеет продольные и поперечные направляющие. По продольным направляющим перемещают шлифовальную бабку 5 с механизмом для правки 4 абразивного червяка. Путем перемещения шлифовальной бабки 5 устанавливают необходимое межосевое расстояние между абразивным червяком и нарезаемым зубчатым колесом в зависимости от диаметра последнего. По поперечным направляющим станины 1 перемещают стойку 9, на которой размещены каретка 8 и головка 7 с бабками для установки между ними шлифуемого колеса. Рукоятка 3 служит для перемещения механизма правки 4. Кожух 6 закрывает абразивный червяк. Рукояткой 2 устанавливают величину автоматической подачи шлифовальной бабки.

Головка 7 своим цилиндрическим пояском входит в стойку 9 и может поворачиваться по отношению к каретке 8 в обе стороны. В нижней части головки смонтированы шпиндель, а в верхней части — бабка верхнего центра. Между их центрами устанавливают шлифуемое колесо, в средней части — механизм ручного поворота каретки на угол наклона зуба при шлифовании косозубых колес.

На рис. 112 приведена кинематическая схема станка мод. 5В833, состоящая из цепей главного движения деления, вертикальной и радиальной подачи, а также правки.

**Главное движение.** Абразивный червяк 1 получает постоянную скорость вращения от электродвигателя  $M1$  ( $N = 4$  кВт;  $n = 1500$  об/мин), через зубчатую передачу  $\frac{99}{99}$ . Следовательно, частота вращения абразивного червяка равна 1500 об/мин. При диаметре абразивного червяка, равного 400 мм, скорость резания при зубошлифовании будет

$$v = \frac{\pi \cdot 400 \cdot 1500}{1000 \cdot 60} = 31,5 \text{ м/с.}$$

**Настройка гитары деления.** Прежде всего отметим, что характерной особенностью зубошлифовального станка мод. 5В833 является наличие в цепи деления электрической синхронной связи между двумя синхронными электродвигателями  $M1$  и  $M2$  ( $N = 1,1$  кВт;  $n = 1500$  об/мин). Система синхронизации вращения абразивного червяка и нарезаемого зубчатого колеса дает возможность отказаться от громоздких кинематических цепей, что повышает точность нарезаемых колес. Кинематическую цепь вращения заготовки настраивают

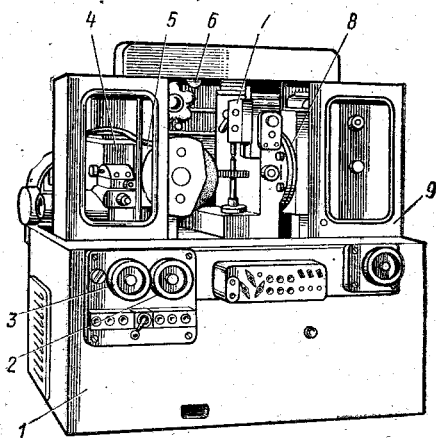


Рис. 112. Зубошлифовальный полуавтомат мод. 5В833



так, чтобы за один оборот абразивного червяка нарезаемое колесо (заготовка) повернулось на один зуб  $\frac{1}{z_{ш}}$ .

Расчетное уравнение для определения передаточного отношения сменных зубчатых колес гитары деления  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$

$$1 \frac{99}{99} \frac{80}{80} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{e}{f} \frac{42}{168} = \frac{1}{z_{ш}}, \text{ откуда } \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{e}{f} = \frac{4}{z_{ш}},$$

где  $z_{ш}$  — число зубьев обрабатываемого колеса.

При шлифовании колес с числом зубьев от 12 до 19 принимают

$$e : f = 36 : 108, \text{ тогда } \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{12}{z_{ш}}.$$

При шлифовании колес с числом зубьев от 20 до 200 принимают

$$e : f = 24 : 120, \text{ тогда } \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{20}{z_{ш}}.$$

Расстояние между колесами  $e$  и  $f$  постоянно, сумма их зубьев также постоянна и равна  $36 + 108 = 24 + 120 = 144$ .

**Возвратно-поступательное перемещение каретки 4.** Чтобы прошлифовать зубья колеса по всей длине, необходима продольная (вертикальная) подача каретки 4 по направлению шлифуемого зуба. Это движение каретки с заготовкой сообщают от электродвигателя ( $N = 1$  кВт;  $n = 1400$  об/мин) через бесступенчатый привод 5 (гидродвигатель с дроссельным регулированием), двухступенчатую передачу с электромагнитной муфтой, червячную передачу  $\frac{1}{34}$  ходовому винту с шагом  $t_1 = 6$  мм.

Величину продольной подачи каретки регулируют от 3,78 до 165 мм/дв. ход при рабочем ходе, а величина ускоренного продольного перемещения каретки равна 300 мм/мин.

**Радиальная подача шлифовальной бабки 2.** Радиальную подачу абразивного червяка на шлифуемое зубчатое колесо 3 осуществляют за каждый его двойной ход перемещением шлифовальной бабки 2 посредством ходового винта с шагом  $t_3 = 5$  мм следующим образом. От гидравлического цилиндра 6 через реечную передачу и храповой механизм сообщают поступательное перемещение винту с шагом  $t_4 = 1,5$  мм, который, нажимая на рычаг 7, повернет его. Рычаг 7, имеющий соотношение плеч 8 : 5, сдвинет дросселирующий гидрораспределитель, в результате чего поршень переместит шлифовальную бабку 2 на величину радиальной подачи  $s_p$ , устанавливаемую лимбом 8, посредством маховичка и колес  $\frac{180}{24}$ .

Найдем величину радиальной подачи при повороте храпового колеса с числом зубьев  $z = 120$  на один зуб:

$$\frac{1}{120} 1,5 \cdot \frac{8}{5} = s_p,$$

откуда  $s_p = 0,02$  мм/дв. ход.

Величину радиальной подачи регулируют в пределах 0,02—0,08 мм/дв. ход.

При наладке станка шлифовальную бабку 2 перемещают маховичком через колеса  $\frac{30}{75}$  и ходовой винт с шагом  $t_3 = 5$  мм, а маховичком через колеса  $\frac{20}{100}$  перемещают стойку ходовым винтом  $t_7 = 4$  мм.

При шлифовании косозубых колес каретку с заготовкой поворачивают на угол наклона шлифуемого зуба с помощью передачи  $\frac{1}{30}$ . Для более точной работы цепи деления в ней создают постоянный натяг гидравлическим тормозом.

**Правка абразивного червяка.** Механизм правящего прибора 9 приводят в движение от электродвигателя М4 ( $N = 0,7/0,9$  кВт;  $n = 1420/2850$  об/мин). На время правки электродвигатель М1 выключают, так как скорость вращения абразивного червяка при правке значительно меньше, чем при шлифовании колес. Правку абразивного червяка осуществляют стальными накатниками или алмазными резцами, устанавливаемыми на правящем приборе 9. Правящий инструмент перемещается по направляющим прибора от ходового винта с шагом  $t_2 = 2\pi$  мм. Кинематическая цепь, связывающая вращение абразивного червяка с перемещением правящего инструмента: абразивный червяк, колеса  $\frac{90}{90}$ , сменные колеса гитары правки  $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$ , колеса  $\frac{66}{66}$ , ходовой винт.

Расчетное уравнение для определения передаточного отношения сменных колес гитары правки

$$1 \text{ (об. абразивного червяка)} \frac{90}{90} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{66}{66} 2\pi = \pi m_n,$$

откуда  $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = \frac{m_n}{2}$ , где  $m_n$  — нормальный модуль шлифуемого колеса.

Частота вращения абразивного червяка во время правки может быть найдена по уравнению

$$1420 \frac{26}{78} \frac{2}{36} \frac{62}{64} \frac{90}{90} = n_a,$$

откуда  $n_a = 25,5$  об/мин, где  $n_a$  — частота вращения абразивного червяка об/мин.

Частота вращения абразивного круга при холостом ходе равна 51 об/мин, электродвигатель работает с частотой вращения 2850 об/мин. Ходовые винты с шагами  $t_3 = 1,5$  мм и  $t_6 = 1,5$  мм приводят во вращение вручную при наладке правящего прибора.

## КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

### 1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатые колеса, как и любую деталь машины, изготовляют с определенной степенью точности, которую необходимо контролировать. Различают два вида контроля — окончательный (приемочный) и технологический.

Окончательный контроль предусматривает, насколько точно изготовлено зубчатое колесо согласно требованиям чертежа. Технологический контроль предусматривает наблюдение за ходом выполнения технологической операции зубонарезания с тем, чтобы своевременно в случае необходимости осуществить размерную и точностную подналадку станка. Другими словами, окончательный контроль сортирует нарезанные зубчатые колеса на годные и брак, а технологический контроль предусматривает предупреждение брака.

При окончательном контроле зубчатых колес выявляют их эксплуатационные показатели, а именно: кинематическую точность, плавность работы, контакт боковых поверхностей зубьев, шумовую характеристику. Этот контроль определяет не погрешности отдельных параметров зубьев, а комплексную проверку зубчатого венца, при этом за измерительные базы принимают их эксплуатационные (монтажные) базы.

При технологическом контроле зубчатых колес, наоборот, проверяют обычно нарезанный зуб по элементам и прежде всего те параметры зубьев, точность которых зависит от наладки станка на данной операции зубонарезания. Такой контроль производят после каждой переналадки станка и смены режущего инструмента, а также периодически в процессе изготовления зубчатых колес. При этом виде контроля для измерений используют технологическую (установочную) базу нарезаемого колеса.

Для каждой степени точности нарезаемых колес предусмотрена величина допусков и предельных отклонений размеров зубчатых колес, которые характеризуются кинематической точностью колеса, плавностью работы колеса и контактом зубьев (контакта).

### 2. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ

Кинематическая точность особенно важна для зубчатых передач, применяемых в точных кинематических цепях, например в делительных цепях зубообрабатывающих станков. В понятие кинематической точности входят следующие показатели: кинематическая погрешность зубчатого колеса, накопленная погрешность окружного шага, радиальное биение зубчатого венца, колебание длины общей нормали, колебание измерительного межосевого расстояния.

**Измерение кинематической погрешности.** Под кинематической погрешностью  $F_{tr}$  понимают наибольшую погрешность угла поворота зубчатого колеса в пределах одного оборота при однопрофильном зацеплении с точным зубчатым колесом. Для контроля кинематической погрешности  $F_{tr}$  применяют ряд приборов. Принцип работы их состоит, в частности, в непрерывном сравнении мгновенных передаточных отношений двух связанных между собой зубчатых колес, из которых одно — проверяемое, а другое — измерительное (эталонное), изготовленное весьма точно.

На рис. 114 показан прибор БВ-608К с промежуточным зубчатым колесом, работающий по указанному принципу.

На направляющих основания 1 прибора установлен неподвижно стол 2 и подвижной суппорт 6, перемещаемый маховичком 10. В отверстии стола 2 установлена втулка с двумя соосными шпинделями для измерительного (эталонного) 3 и проверяемого 4 зубчатых колес, имеющих одинаковые параметры. Промежуточное колесо 5, установленное на подвижном суппорте 6, зацепляют с колесами 3 и 4. Установку номинального межосевого расстояния производят с помощью шкалы и нониуса 11. Колесо 3 вращают вручную маховичком 9 или же специальным приводом от электродвигателя 8. При вращении колес 3 и 4, из-за погрешности проверяемого колеса, происходит его опережение или отставание. Эти отклонения воспринимаются отсчетным устройством и наносятся самописцем 7 в виде диаграммы.

Существует большая группа приборов для определения кинематической погрешности, в которых вместо эталонного колеса применяют ленточно-рычажные, магнитно-электрические, фрикционные устройства и ряд др.

**Измерение накопленной погрешности окружного шага.** Под накопленной погрешностью окружного шага  $F_{pr}$  понимают наибольшую погрешность во взаимном расположении двух одноименных профилей зубьев по одной окружности колеса.

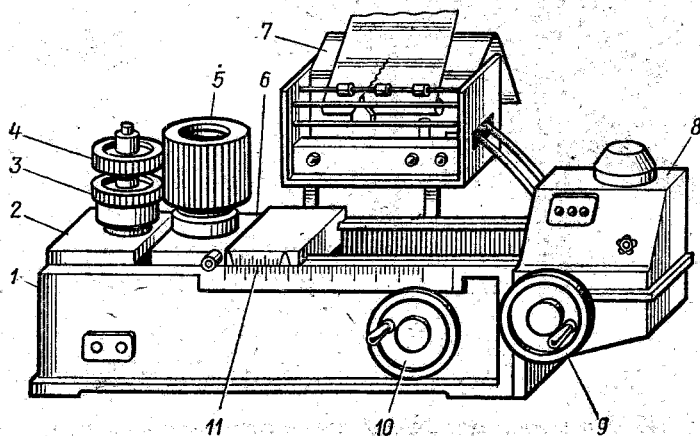


Рис. 114. Прибор модели БВ-608К с промежуточным зубчатым колесом

На рис. 115, а приведена схема универсального прибора БВ-584М с угловым лимбом для контроля окружного шага зубчатого колеса. На вертикальном шпинделе 1 с центром 4 установлен угловой лимб 3. На станине прибора установлены два микроскопа 2, расположенных под углом  $180^\circ$ . Измерительный узел 9 можно устанавливать как по высоте, так и по радиальному направлению в зависимости от размера контролируемого колеса 6.

На приборе можно также контролировать радиальное биение зубчатого венца, колебание длины общей нормали, отклонение основного шага и окружной шаг конических зубчатых колес. Для выполнения указанных проверок прибор снабжают набором сменных наконечников 7, которые устанавливают и закрепляют в державке 8. Получаемые отклонения передаются на отсчетную головку 5 с ценой деления 1 мкм.

На рис. 115, б приведена принципиальная схема работы прибора для непосредственного измерения накопленной погрешности окружного шага. Прибор предварительно настраивают по эталонному колесу. Измерительные наконечники прибора устанавливают относительно друг друга под углом  $180^\circ$  так, чтобы они контактировали с диаметрально противоположными одноименными боковыми профилями зубьев проверяемого колеса на одной окружности колеса. Один наконечник неподвижен, другой, поворачиваясь вокруг оси, — действует на индикатор, при этом смещение действительного положения профиля

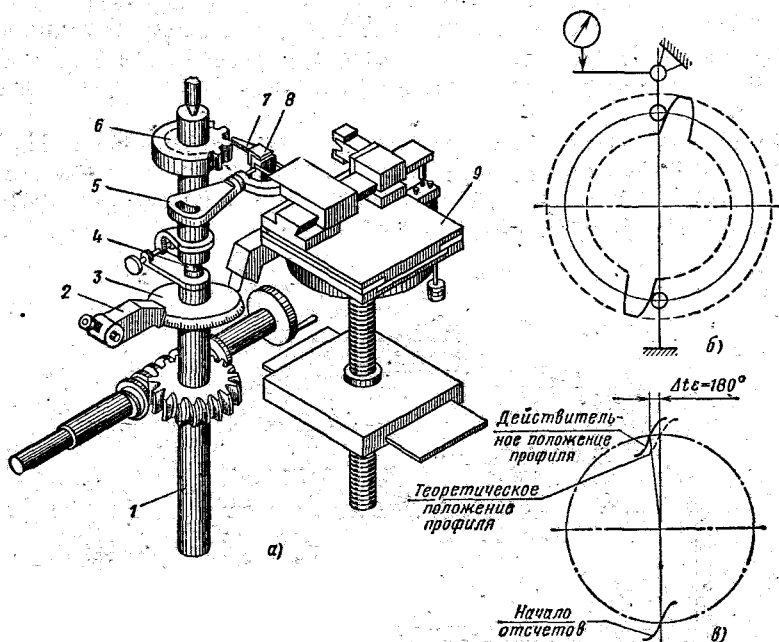


Рис. 115. Измерение накопленной погрешности окружного шага колеса:

а — зубоизмерительный прибор БВ-584М (ЛИЗ); б — схема работы прибора измерения; в — схема определения погрешности

зуба от теоретического его положения представляет накопленную погрешность окружного шага. Измерение накопленной погрешности окружного шага можно производить и без установки прибора по эталонному колесу. Для этого проверяемое колесо поворачивают от зуба и находят по индикатору наибольшую разность показаний, половину которой принимают за накопленную погрешность окружного шага.

**Измерение радиального биения зубчатого венца.** Радиальное биение  $F_r$  контролируют на приборах-биениемерах (рис. 116). Принципиальная схема работы биениемера показана на рис. 116, а. Измерительный наконечник 2 в форме усеченного конуса последовательно вводят во впадины зубьев проверяемого колеса 1 и прижимают к боковым поверхностям зуба пружиной. Колебания расстояний от измерительного наконечника до оси колеса фиксируют индикатором 3. На рис. 116, б приведен биениемер Челябинского завода мерительных инструментов. На станине прибора 1 установлены центровые бабки 2 и 8, в центрах которых на оправке устанавливают проверяемое колесо. На бабке 7 установлена каретка 3, перемещаемая маховичком 6. На каретке установлена втулка 11, в которой размещен шток 9 с пяткой 12 и измерительным наконечником 10. Винтом 13 настраивают радиальное положение наконечника, а индикатором 4 производят измерения. В приборе предусмотрены стопоры 5 и 14, фиксирующие установленное положение зубчатого колеса.

**Измерение колебания длины общей нормали.** Колебание длины общей нормали  $V_{\text{нр}}$  контролируют различными инструментами, имеющими две параллельные измерительные плоскости.

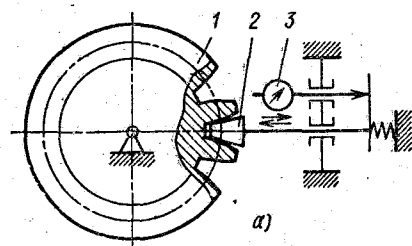


Рис. 116. Измерение радиального биения зубчатого венца:  
а — принципиальная схема работы биениемера; б — биениемер мод. 10

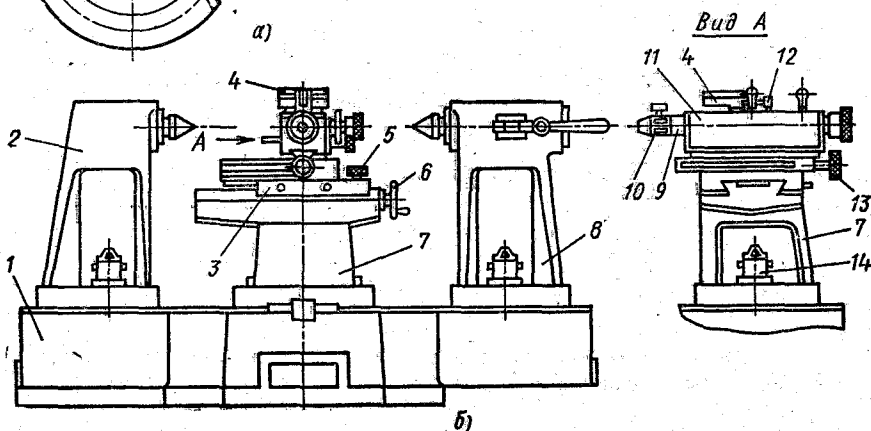
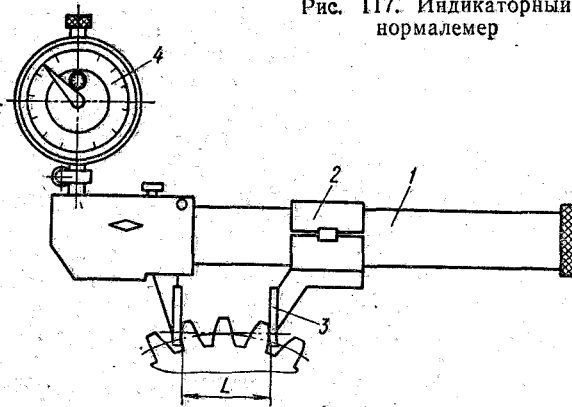




Рис. 117. Индикаторный нормалемер



На рис. 117 приведен индикаторный нормалемер, состоящий из масштабной линейки 1, подвижной рамки 2, измерительного наконечника 3 и индикатора 4.

**Измерение колебания измерительного межцентрового расстояния.** Колебание измерительного межцентрового расстояния  $f_z$  определяют на приборах, называемых приборами для комплексного двухпрофильного контроля (рис. 118) или межцентромерами. Принципиальная схема межцентромера для контроля цилиндрических зубчатых колес приведена на рис. 118, а.

Эталонное колесо 1 устанавливают на оправке неподвижного при измерении суппорта, а контролируемое колесо 2 — на оправке неподвижного суппорта прибора. Необходимую плотность зацепления колес создают пружиной. Отклонения определяют по индикатору 3.

На рис. 118, б показан межцентромер для измерения колебаний измерительного межцентрового расстояния. По направляющим станины 8 можно перемещать суппорты 5 и 11. Суппорт 5 перемещают по станине путем вращения ходового винта маховичком 7. Этот суп-

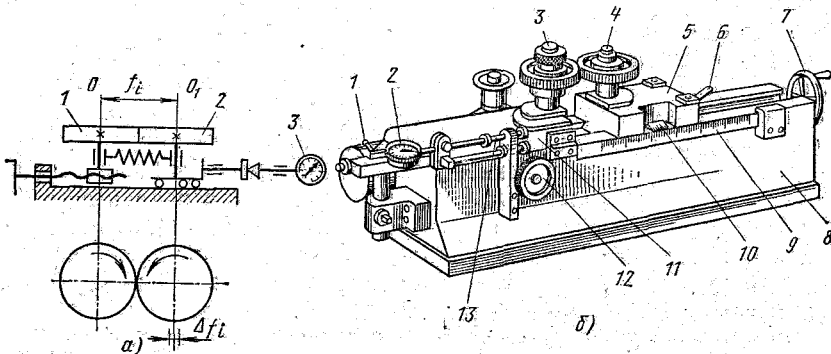


Рис. 118. Измерение колебания измерительного межцентрового расстояния: а — принципиальная схема прибора; б — межцентромер для измерения колебаний между центрами

порт может быть закреплен в нужном положении рукояткой 6. Суппорт 11 расположен на шариках и может перемещаться на величину 4—5 мм рукояткой 12. Оба суппорта снабжены оправками; на оправку 3 надевают измерительное колесо, а на оправку 4 — измеряемое. Расстояние между осями оправок определяют масштабной линейкой 9 и нониусом 10. В процессе вращения колес 3 и 4 движение суппорта 11 фиксируется индикатором 2 и передается на самописец 1 при контакте наконечника индикатора с головкой винта 13.

**Проверка погрешности обката.** Погрешности обката  $F_{cr}$  — это та часть кинематической погрешности колеса, которую вносит станок при его нарезании, поэтому эту погрешность выявляют при контроле кинематической точности зуборезного станка с помощью специальных приборов — кинематометров. Контроль погрешности обката зуборезного станка может быть проведен и косвенным методом измерения пробного колеса, нарезанного на этом станке.

### 3. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВНОСТИ РАБОТЫ

Плавность работы зубчатого колеса отражает его кинематическую точность, но характер этой погрешности отличен от погрешности кинематической точности. Кинематическую точность колеса характеризуют полной погрешностью колеса от максимальной положительной до максимальной отрицательной величины за полный оборот, а плавность работы передачи характеризуют скачкообразным изменением передаточного отношения, многократно повторяющегося на один оборот колеса. Плавность работы зубчатой передачи особенно важна для силовых передач, работающих на больших скоростях.

В понятие плавности работы зубчатой передачи входят следующие показатели: циклическая погрешность, погрешность профиля зуба, погрешность окружного и основного шага.

**Измерение циклической погрешности.** Циклической погрешностью  $f_{rkr}$  называют часть кинематической погрешности, многократно повторяющуюся за оборот зубчатого колеса. Циклические погрешности возникают при зубофрезеровании широких косозубых колес, образуют волнистость боковой поверхности зуба, которую измеряют приборами-волномерами.

**Определение погрешности профиля зуба.** Погрешность эвольвентного профиля зуба  $f_{r\tau}$  определяют на приборах, называемых эвольвентомерами, путем непрерывного сравнения измеряемого профиля зуба с теоретической эвольвентой, воспроизводимой прибором. Эвольвентомеры делят на индивидуально-дисковые и универсальные.

На рис. 119, а показан индивидуально-дисковый эвольвентомер БМ-1089 со сменными дисками обката для каждого проверяемого зубчатого колеса. По продольным и поперечным направляющим основания 6 перемещают каретки. По продольным направляющим перемещают каретку с оправкой на шариковых подшипниках, на которую устанавливают проверяемое колесо 4 и соответствующий ему сменный обкатной диск 5. По поперечным направляющим перемещают каретку 2 с линейкой 1, которая контактируется с диском 5. Измерительный

наконечник 3, воспринимающий отклонения действительного профиля зуба от теоретической эвольвенты, укреплен в цанговом патроне и связан с самописцем.

Универсальные эвольвентомеры делят на приборы с основными дисками или же с постоянными копиями. Схема универсального эвольвентомера с постоянным копиром приведена на рис. 119, б. Отличие универсального эвольвентомера от индивидуально-дискового состоит в том, что при наличии постоянного сектора обкаточного диска настройку на различные основные окружности осуществляют рычажной системой.

Проверяемое зубчатое колесо 11 устанавливают в центрах; верхний центр можно передвигать по вертикали маховичком 10. На одной геометрической оси с колесом установлен эвольвентный копир 7, к которому прижата планка 6, укрепленная по касательной к эвольвентной поверхности копира. Маховичком 1 вращают контролируемое колесо и эвольвентный копир, при этом планка 6, нижняя каретка 3 и ролики 5 переместятся на некоторое расстояние. Ролик 5, поворачивая рычаг 4, повернет рычаг 2, который, упираясь в ролик 13 верхней каретки 8, переместит ее вместе с измерительным наконечником 9. Ось ролика 13 устанавливают на расстоянии, равном радиусу основной окружности  $r_b$  от оси центров. Таким образом, острое измерительного наконечника будет перемещаться по эвольвенте, образованной от этой основной окружности. Установку на различные величины  $r_b$  производят по блоку концевых мер, который устанавливают между упором 12 и верхней кареткой 8.

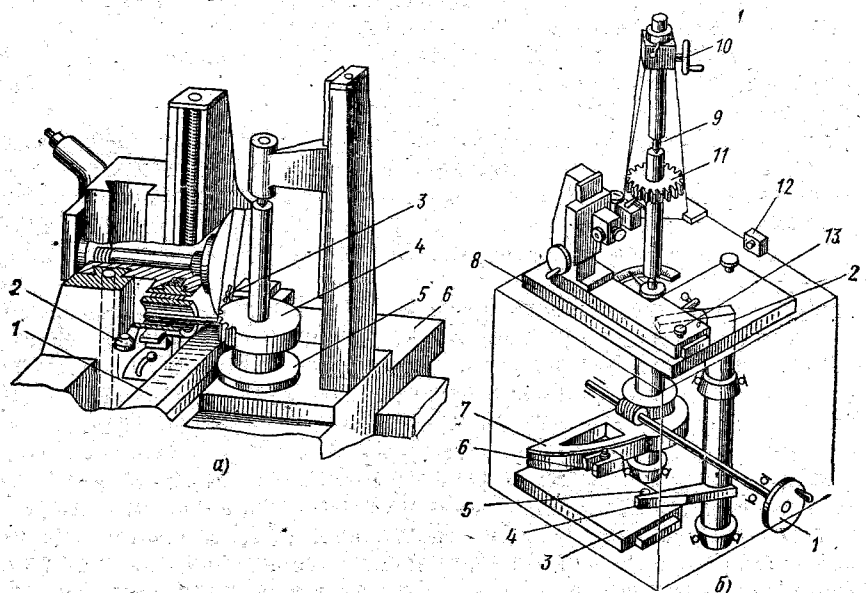


Рис. 119 Определение погрешности профиля зуба:

а — индивидуально-дисковым эвольвентомером БВ-1089. б — универсальным эвольвентомером с постоянным копиром

**Измерение погрешности окружного шага.** Наибольшую разность соседних окружных шагов  $\Delta P$ , определяют накладными или станковыми шагомерами, которые относят к относительным измерительным приборам. Исходной величиной для настройки шагомера берут окружной шаг произвольной пары зубьев измеряемого колеса, с которым в процессе контроля сопоставляют окружные шаги всех остальных пар зубьев колеса.

На рис. 120, а, б показан накладной шагомер Ленинградского инструментального завода (ЛИЗ). Он состоит из корпуса 1, двух измерительных губок 8 и 10, опорных ножек 6, 9 и 11 и индикатора. Губка 10 может перемещаться относительно губки 8 и фиксироваться винтом 3. Величину ее перемещения определяют по шкале. Интервал между штрихами шкалы равен 3,14 мм, что соответствует величине  $\pi$ . Губка 8 подвешена на пружинном параллелограмме 12; перемещение этой губки сообщается при повороте углового рычага 13, который подвешен на плоских пружинах 14. Наконечник индикатора закрепляют винтом 4.

На корпусе шагомера расположены три опорные ножки: передние 6 и 11 и задняя 9. Опорные ножки снабжены с одной стороны торцовыми упорами 7, а с другой — закругленной поверхностью. Как передние, так и задние ножки шагомера можно перемещать и поворачивать на корпус прибора и в нужном положении закреплять винтами 2 и 5.

На рис. 120, в приведено приспособление для измерения погрешности окружного шага конических зубчатых колес. Контролируемое колесо 1 устанавливают на опорное кольцо 2 и центрируют на нем. Измерительные наконечники 3 и 5 настраивают так, чтобы они касались одноименных боковых сторон двух смежных зубьев колеса примерно в средней части зуба. Погрешность окружного шага устанавливают по индикатору, связанному с подвижным измерительным наконечником 5. Поворот колеса с одной пары зубьев на другую производят вручную. Кулачок 4 предназначен для ввода и вывода наконечников 3 и 5 из впадины зуба.

**Определение отклонений основного шага.** Основной шаг  $P_b$  определяют как расстояние между двумя параллельными касательными

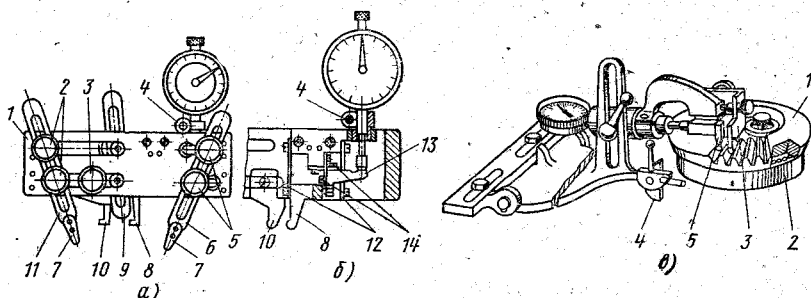


Рис. 120. Определение погрешности окружного шага:

а, б — шагомер ЛИЗ; в — приспособление для измерения окружного шага конических зубчатых колес

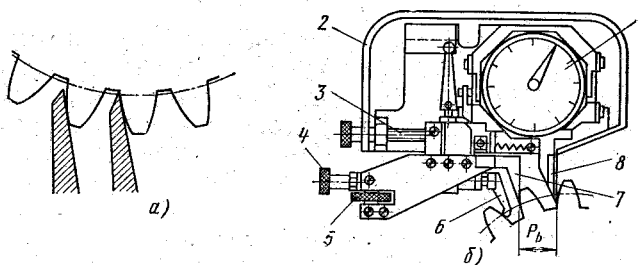


Рис. 121. Измерение основного шага:  
а — принципиальная схема измерения шагомером; б — шагомер ЛИЗ

к двум смежным одноименным профилям зубьев специальными приборами — шагомерами (рис. 121) для основного шага.

Прибор имеет два измерительных наконечника (один неподвижный, другой подвижный), связанный с отсчетным устройством. Расстояние между ними, равное теоретической величине основного шага  $P_b$ , устанавливают по блоку плоскопараллельных концевых мер. В корпусе 2 прибора установлены два измерительных наконечника 7 и 8. Чувствительный наконечник 8 смонтирован на пружинном параллелограмме, что дает ему возможность перемещаться в небольших пределах, которые фиксируются двусторонним отсчетным устройством 1. Наконечник 7 прикреплен к ползуну, который микровинтом 3 перемещают и устанавливают в нужном положении. Для поддержания прибора в нужном положении при измерении служит опорный наконечник 6, настраиваемый винтом 4 и гайкой 5.

#### 4. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНТАКТА ЗУБЬЕВ ПЕРЕДАЧИ

Нормы контакта зубьев сопряженных колес определяют точность выполнения размеров пятна контакта в передаче. Контакт зубьев передачи обеспечивает долговечность зубчатой передачи. Это особенно важно для тяжелонагруженных нескоростных передач.

В понятие контакта зубьев передачи входят следующие показатели: суммарное пятно контакта с измерительным колесом, погрешности направления зуба, осевого шага, формы и расположения контактной линии.

**Определение пятна контакта зубьев.** Размеры пятна контакта нормируют в процентах от длины и высоты рабочей боковой поверхности профиля зуба. Форму и величину пятна контакта определяют взаимной обкаткой сопряженной пары на универсальных контрольно-обкатных станках мод. 5А725 и других или же на специальных стендах. Величину контакта контролируемого колеса можно сравнивать с эталонным. На боковые поверхности испытуемых колес наносят тонкий слой (4—6 мкм) краски. Для этого используют различные краски: голландскую сажу, берлинскую лазурь, свинцовые или цинковые белила.

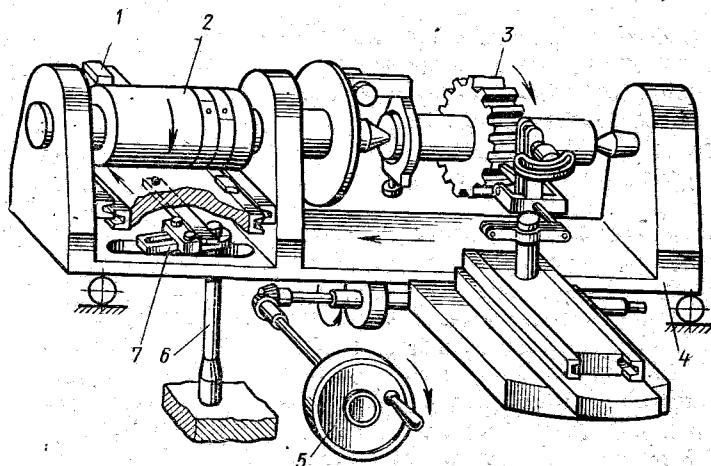


Рис. 122. Ходомер для контроля косозубых колес

**Измерение погрешности направления зуба.** Погрешность направления зуба прямозубых колес измеряют любым контрольным прибором, допускающим перемещение измерительного узла параллельно оси контролируемого колеса.

На рис. 122 показана принципиальная схема ходомера для контроля направления зубьев косозубого колеса. Между центрами бабкок стола 4 прибора устанавливают на оправке контролируемое колесо 3. Принцип работы прибора состоит в том, что при перемещении стола на шариках с помощью маховичка 5 одновременно приводится в движение поперечная каретка 1, на которой установлена синусная линейка 7, контактирующая с пальцем 6. Перемещение поперечной каретки приводит во вращение поводок 2 с помощью стальных лент и вместе с ним проверяемое колесо; по боковой поверхности зуба колеса перемещается измерительный наконечник прибора. Перемещение стола, согласованное с поворотом измеряемого колеса, воспроизводит винтовую линию, отклонение от которой фиксируется отсчетным устройством.

## 5. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БОКОВОГО ЗАЗОРА В ПЕРЕДАЧЕ

**Допуски на боковой зазор  $T_{jn}$ .** Требования к боковому зазору не зависят от степени точности; его определяют видом сопряжения по нормам бокового зазора. ГОСТ 1643—72 предусматривает шесть видов сопряжения зубчатых колес в передаче и восемь видов допуска на боковой зазор (рис. 123), которые обозначают буквами латинского алфавита *H, E, D, C, B* и *A*, а виды допуска на боковой зазор строчными буквами *h, e, d, c, b, a*. Виды сопряжений и величины гарантированного бокового зазора  $j_{n \min}$  графически приведены на рис. 123. Сопряжение *B* гарантирует боковой зазор, при котором исключается заклинивание стальной зубчатой передачи от нагрева при разности температур колеса и корпуса  $25^\circ \text{C}$ . В тех случаях, когда зубчатая

передача работает при более высокой температуре, принимают вид сопряжения *A*.

В большинстве случаев видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор *h*, а видам сопряжений *D*, *C*, *B* и *A* — соответственно виды допуска *d*, *c*, *b* и *a*.

**Условные обозначения точности зубчатой передачи на чертежах.** В тех случаях, когда допуски по всем трем нормам точности одинаковые, например по 7-й степени точности, что на чертеже обозначают цифрой семь (ГОСТ 1643—72). Когда устанавливают допуски по всем трем нормам точности из разных степеней точности и изменение соответствия между видом допуска на боковой зазор, в обозначении пишут три цифры (степени точности) и две буквы (виды сопряжений бокового зазора), например 8—7—6. Это условное обозначение следует читать так: по нормам кинематической точности принята 8-я степень точности, по нормам плавности работы — 7-я степень точности, а по нормам контакта зубьев — 6-я степень точности. Вид сопряжения колес по *B*, а допуск на боковой зазор по ГОСТ 1643—72.

При комбинировании разных норм степеней точности нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности. Нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работ колеса и передач.

Погрешностями бокового зазора в передаче являются следующие: смещение исходного контура, изменение толщины зуба, отклонение средней длины от общей нормали, отклонение межосевого расстояния.

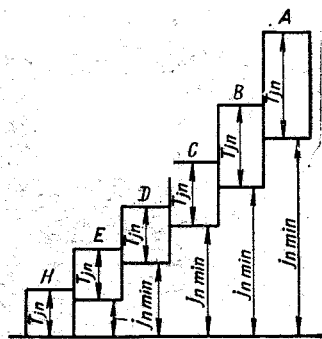


Рис. 123. Схема наименьших значений бокового зазора и допусков зазоров

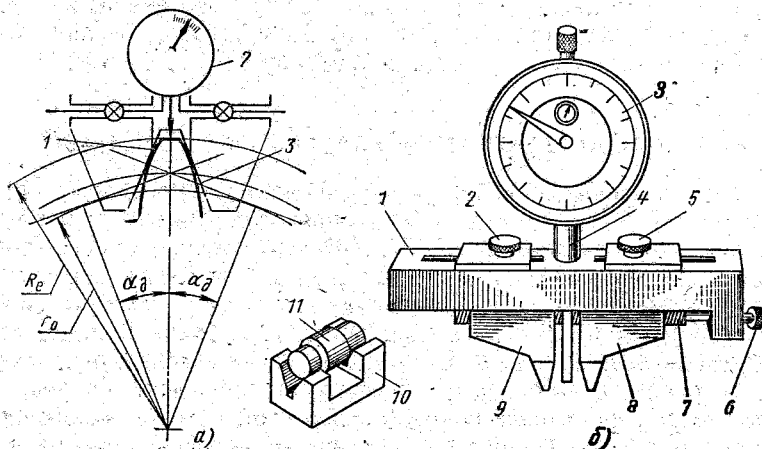
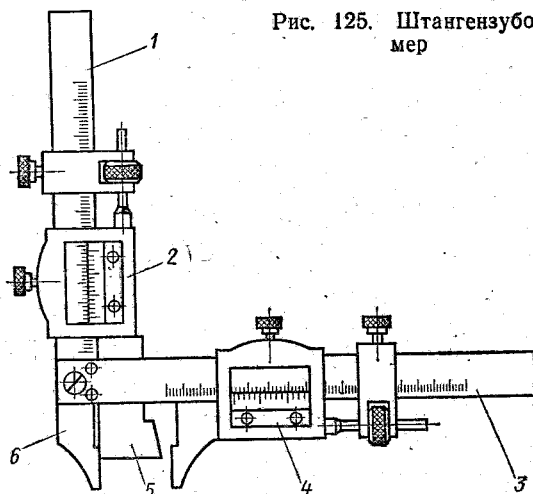


Рис. 124. Тангенциальный зубомер

Рис. 125. Штангензубомер



**Измерение смещения исходного контура.** Измерение смещения исходного контура зубчатых венцов цилиндрических колес производят тангенциальными зубомерами. На рис. 124, а показан принцип измерения тангенциальным зубомером. Измерительные губки 1 и 3 прибора выполнены в виде призмы с углом, равным двойному углу зацепления ( $2L_d$ ). Прибор настраивают по установочным роликам определенного диаметра, а стрелку индикатора 2 устанавливают в нулевое положение.

На рис. 124, б приведен тангенциальный зубомер, состоящий из корпуса 1, в котором прикреплена штанга 4 для установки индикатора 3 с удлиненными наконечниками между измерительными губками 8 и 9 прибора. Измерительные губки перемещают вращением головки 6 общего винта 7 с правой и левой резьбами и фиксируют в нужном положении стопорами 2 и 5. Базой для измерения служит окружность выступов проверяемого колеса. Установку измерительных губок производят по роликам 11, которые установлены в призме стойки 10.

**Измерение отклонений толщины зуба.** Отклонения толщины зубьев цилиндрических колес измеряют кромочными зубомерами различных типов — штангензубомерами, микрометрическими зубомерами, оптическими зубомерами и др.

Штангензубомер (рис. 125) состоит из двух взаимно перпендикулярных шкал 1 и 3, нониусов 2 и 4, опорной планки 5 и неподвижной измерительной губки 6.



## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

### 1. ПОНЯТИЕ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

Рабочее место — часть производственной площади цеха, оснащенная оборудованием, инструментом и приспособлениями, которые необходимы для выполнения работы. Оборудование делят на основное и вспомогательное.

Основным оборудованием рабочего места зубореза является один или несколько зубообрабатывающих станков. В состав вспомогательного оборудования и оснастки рабочего места зубореза входят: 1) комплект технологической оснастки, состоящей из приспособлений, режущего, измерительного и вспомогательного инструмента постоянного пользования; 2) комплект технической документации, постоянно находящейся на рабочем месте, состоящий из инструкций, справочников, вспомогательных таблиц и т. д.; 3) комплект стандартного оборудования, состоящего из инструментального шкафа или тумбочки, подставки для размещения заготовок и готовых деталей.

Ниже приводятся некоторые рекомендации по организации рабочего места зубореза. Рабочее место является тем первичным звеном предприятия, где создаются материальные ценности, поэтому образцовое содержание рабочего места — залог повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции.

Для получения высокой производительности труда недостаточно иметь современное высокопроизводительное оборудование, надо правильно организовать свой труд и правильно распланировать рабочее место. На рабочем месте должно находиться только то, что необходимо для выполнения данной работы. Все лишнее следует убрать с рабочего места, чтобы не тратить время на перекладывание предметов и поиски нужного. Каждый предмет необходимо укладывать на одно и то же отведенное для него место.

Таким образом, организацию рабочего места необходимо начинать с наведения на нем чистоты и порядка. Там, где нет чистоты и порядка, не может быть и речи о высокой производительности труда. Заготовки не должны загрязнять рабочее место зубореза и проходы между станками. На полу вокруг станка не должно быть подтеков и капель масла. Следует своевременно очищать станок от стружки.

До начала работы на рабочем месте необходимо доставить все необходимое для выполнения задания: чертежи, технологическую карту, режущий инструмент, заготовки, приспособления и т. п.

**Оснащение зубообрабатывающих станков.** Работать на металло-режущих станках производительно можно только тогда, когда они оснащены всем необходимым для выполнения данной работы. Каждый

зубофрезерный станок имеет комплект сменных зубчатых колес, гаечных ключей и оправок для крепления режущего инструмента. От их комплектности и исправности зависит время, затрачиваемое на подготовку к работе, и качество нарезанных зубчатых колес. Необходимо постоянно следить, чтобы станки имели полную оснастку и чтобы она была под руками. Укажем на некоторые особенности использования наиболее распространенных видов оснастки при нарезании зубчатых колес.

Сменные колеса необходимо, как правило, иметь при каждом зуборезном станке в полном наборе. В набор в среднем входит до 100 шт. сменных зубчатых колес с разными числами зубьев. За сохранность сменных колес отвечает рабочий, обслуживающий станок. Сменные зубчатые колеса хранят на рабочем месте в специальной пирамиде. На каждой полочке должна быть надпись, указывающая число зубьев колеса. Такой порядок хранения позволяет без лишней затраты времени находить нужные сменные колеса.

**Гаечные ключи.** Каждый станок должен быть снабжен полным комплектом гаечных ключей. Наличие комплекта гаечных ключей позволяет избегать простоев и непроизводительной затраты вспомогательного времени. Для хранения гаечных ключей станочник должен иметь специальный переносный ящик.

**Фрезерные оправки** с установочными закаленными кольцами являются принадлежностью каждого зубофрезерного станка. Кольца изготовляют очень тщательно, со скользящей посадкой по наружному диаметру оправки, выдерживая параллельность торцов и перпендикулярность их оси отверстия. Погрешность в параллельности торцов у колец приводит к изгибу фрезерной оправки и вызывает недопустимое биение режущего инструмента.

Оправки периодически проверяют на биение. Оправки с биением в среднем более 0,07 мм используют только для черновой обработки, а оправки с биением 0,15 мм бракуют. Для хранения оправок на рабочем месте должны быть специальные закрытые пирамиды, предохраняющие их от загрязнения. Оправки, имеющие длину более 12 диаметров, хранят в вертикальном положении, в результате чего они дольше сохраняют точность. Перед установкой инструмента на станок посадочное место шпинделя и оправки обязательно протирают чистой тряпкой. Оправку после установки проверяют на биение по индикатору.

Вспомогательный инструмент и установочно-крепежные приспособления для обработки определенных деталей могут быть нормализованными и специальными. Относительно крепежной оснастки сделаем практическое замечание. Необходимо стремиться, чтобы номенклатура крепежной оснастки была минимальной. При этом условии потребуются меньше ключей разных типов и размеров.

Перед началом работы зуборез обязан проверить исправность станка и заземление, смазать его согласно инструкции, ознакомиться по технической документации с предстоящей работой, проверить наличие и исправность инструмента и приспособлений, убедиться в правильности наладки станка. Во время работы зуборез должен строго соблюдать установленную настройку станка на заданный режим, не класть

режущий и измерительный инструмент, ключи, заготовки и детали на станок. Работать следует только исправным и хорошо заточенным инструментом, следить за правильным подводом охлаждающей жидкости в зону резания.

По окончании работы необходимо выключить станок, очистить его от стружки, а инструменты убрать в шкаф. При двух- или трехсменной работе станок сдают сменщику, при этом необходимо сообщить сменщику и мастеру о замеченных недостатках в работе станка.

## 2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Под техникой безопасности подразумевают сумму организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение несчастных случаев на производстве. Таким образом, основное назначение мероприятий по технике безопасности состоит в том, чтобы обеспечить безопасность и безвредность труда без снижения производительности. Это достигают путем проведения комплекса мероприятий, направленных на защиту работающего от различного рода травм, предотвращение вредных, вызываемых условиями работы воздействий на организм человека.

Производственной травмой считают телесное повреждение, в результате которого наступает временная или постоянная потеря трудоспособности. Причинами производственного травматизма являются механические, электрические, химические или другого рода воздействия на организм человека, а также острые отравления, ожоги, происшедшие в производственных условиях. Иногда причиной производственных травм являются загроможденность рабочих мест и проходов полуфабрикатами и готовыми деталями. В механических цехах к несчастным случаям может привести незнание рабочими правил техники безопасности, устройства станка, отсутствие ограждений и ряд других причин.

Все открытые движущиеся части зубообрабатывающих станков должны быть надежно закрыты. Сменные зубчатые колеса на гитарах станка должны быть закрыты дверцами. Необходимо, чтобы электродвигатель станка включался только при закрытых дверцах, чего достигают применением электроблокировки. Против разбрызгивания смазочно-охлаждающей жидкости используют стальные листы, которые надежно закрывают зону обработки и тем самым защищают зуборезчика от смазочно-охлаждающей жидкости и от стружки. Через смотровые окна стального листа можно наблюдать процесс зубонарезания. Стальные листы можно легко перемещать на роликах в нужное место.

Зуборез должен твердо усвоить, что во время работы станка нельзя устанавливать или снимать какие-либо защитные устройства с движущихся механизмов, проверять или закреплять заготовки или режущий инструмент, убирать голыми руками стружку со станка. Не допускается оставлять рукоятки на станке после его настройки. Чтобы не поранить руки, в особенности при установке и снятии крупномодульных фрез, следует работать в рукавицах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В. В. Справочник молодого зуборезчика. М., Высшая школа, 1970, 252 с.
2. Адам Я. И., Овумян Г. Г. Справочник зубореза. М., Машиностроение, 1971, 232 с.
3. Болдин Я. А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации. Изд-во Саратовского университета, 1974. 200 с.
4. Бушуев В. В., Налетов С. П. Тяжелые зубообрабатывающие станки. М., Машиностроение, 1976. 304 с.
5. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. М., Машиностроение, 1975, 272 с.
6. Журавлев А. Н. Допуски и технические измерения. М., Высшая школа, 1976. 248 с.
7. Кедринский В. Н., Писманик К. М. Станки для обработки конических зубчатых колес. М., Машиностроение, 1967. 590 с.
8. Козлов Д. Н. Зуборезные работы. М., Высшая школа, 1971. 268 с.
9. Куклин Н. Г., Куклина Г. С. Детали машин. М., Высшая школа, 1973, 382 с.
10. Лоскутов В. В. Зуборезные станки. М., Машиностроение, 1972. 126 с.
11. Металлорежущие станки. Учебник. Под ред. В. К. Тепинкичева. М., Машиностроение, 1973, 472 с.
12. Налчан А. Г. Металлорежущие станки. Ч. III, М., Высшая школа, 1970, 120 с.
13. Некрасов С. С., Зильберман Г. М. Технология материалов. Обработка конструкционных материалов резанием. М., Машиностроение, 1974, 288 с.
14. Поляков Д. И., Костин А. И. Станкостроение Швейцарии. Обзор. М., НИИМАШ, 1971, 162 с.
15. Производство зубчатых колес. Справочник. Под ред. Б. А. Тайц. М., Машиностроение, 1975, 728 с.
16. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. Под ред. П. Г. Петруха. М., Машиностроение, 1974. 616 с.
17. Скоростное зубофрезерование. Под ред. О. И. Моисеенко. Киев, Техника, 1972, 216 с.
18. Сыроегин А. А., Калашников С. Н. Автоматизация и механизация производства зубчатых колес. М., Машиностроение, 1970. 248 с.
19. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления И. А. Болотовский, В. И. Гурьев, В. Э. Смирнов, Б. И. Шендерей. М., Машиностроение, 1974. 160 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. . . . .	3
Глава первая. Основные сведения о зубчатых передачах и зацеплениях . . . . .	5
1. Элементы теории зубчатых зацеплений . . . . .	6
2. Передачи с цилиндрическими зубчатыми колесами. . . . .	13
3. Конические зубчатые колеса . . . . .	17
4. Червяки, червячные и глобоидные колеса . . . . .	20
Глава вторая. Способы нарезания цилиндрических зубчатых колес . . . . .	23
1. Основные требования, предъявляемые к зубчатым передачам . . . . .	23
2. Методы профилирования зубьев колес . . . . .	24
3. Метод обкатки. . . . .	28
Глава третья. Кинематические цепи в зубообрабатывающих станках и их настройка . . . . .	34
1. Способы передачи движений исполнительным органам станка . . . . .	34
2. Настройка кинематических цепей . . . . .	35
3. Сложные кинематические цепи . . . . .	40
4. Способы подбора сменных зубчатых колес. . . . .	48
Глава четвертая. Зубофрезерные станки. . . . .	50
1. Компоновка зубофрезерных станков . . . . .	50
2. Классификация зубообрабатывающих станков. . . . .	52
3. Зубофрезерный полуавтомат мод. 5К32. . . . .	53
4. Зубофрезерные станки тяжелого типа . . . . .	73
5. Зубофрезерный станок мод. 5345. . . . .	75
6. Наладка зубофрезерных станков. . . . .	87
7. Основные направления в развитии зубофрезерных станков . . . . .	89
Глава пятая. Зубодолбежные станки. . . . .	96
1. Движения в зубодолбежных станках. . . . .	96
2. Зубодолбежные полуавтоматы мод. 5140 и 5122. . . . .	99
3. Зубодолбежные станки для обработки колес с шевронным зубом . . . . .	104
Глава шестая. Пути повышения производительности зубонарезания. . . . .	107
1. Повышение производительности зубофрезерования совершенствованием конструкции инструмента . . . . .	107
2. Повышение производительности зубофрезерования за счет технологических факторов . . . . .	111
3. Повышение производительности зубодолбления . . . . .	116
Глава седьмая. Способы нарезания конических зубчатых колес . . . . .	118
1. Методы профилирования . . . . .	118
2. Компоновка станков для нарезания конических зубчатых колес . . . . .	121
Глава восьмая. Станки для нарезания конических зубчатых колес . . . . .	125
1. Зубострогальный станок мод. 5А250. . . . .	126
2. Наладка зубострогальных станков . . . . .	133
3. Зуборезный станок мод. 5230. . . . .	135
4. Зуборезный станок мод. 528С. . . . .	139
Глава девятая. Зубозакругляющие станки. . . . .	147
1. Методы закругления зубьев колеса . . . . .	147
2. Зубозакругляющий станок мод. 5582. . . . .	148

<b>Глава десятая. Зубоотделочные станки.</b>	<b>151</b>
1. Шевингование зубьев зубчатых колес	151
2. Зубошлифовальные станки.	158
3. Зубошлифовальный станок мод. 5831.	162
4. Зубошлифовальный станок мод. 5841.	166
5. Универсальный зубошлифовальный станок мод. 5851.	169
6. Зубошлифовальный полуавтомат мод. 5В833.	170
<b>Глава одиннадцатая. Контроль зубчатых колес.</b>	<b>175</b>
1. Виды контроля зубчатых колес	175
2. Контроль показателей кинематической точности.	175
3. Контроль показателей плавности работы	180
4. Контроль показателей контакта зубьев передачи.	183
5. Контроль показателей бокового зазора в передаче	184
<b>Глава двенадцатая. Организация рабочего места. Техника безопасности</b>	<b>187</b>
1. Понятие об организации рабочего места и его обслуживание	187
2. Техника безопасности.	189
<b>Список литературы</b>	<b>190</b>

ИБ № 1295

Василий Васильевич Лоскутов, Александр Григорьевич Ничков

## ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

Редактор Л. И. Воронина

Технические редакторы Н. Н. Скотникова, В. И. Орешкина

Корректоры О. Е. Мишина, И. М. Борейша

Сдано в набор 26. 04. 78 Подписано в печать 07. 07. 78. Т-09442

Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2.

Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 12,0. Уч.-изд. л. 12,9.

Тираж 47 000 экз. Заказ 355 Цена 45 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, ГСП-6, 1-й Басманный пер., 3  
 Московская типография № 4 Союзполиграфпрома  
 при Государственном комитете Совета Министров СССР  
 по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,  
 Москва, И-41, Б. Переяславская ул., дом № 46

45 к.

Москва \* Машиностроение \* 1978

