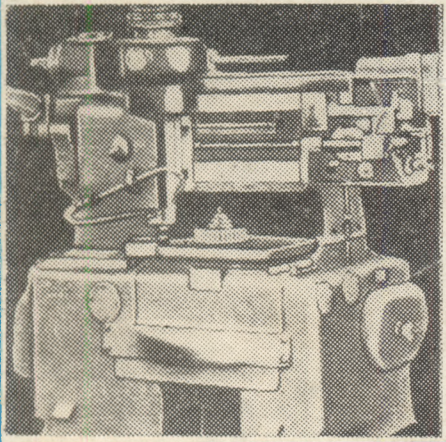
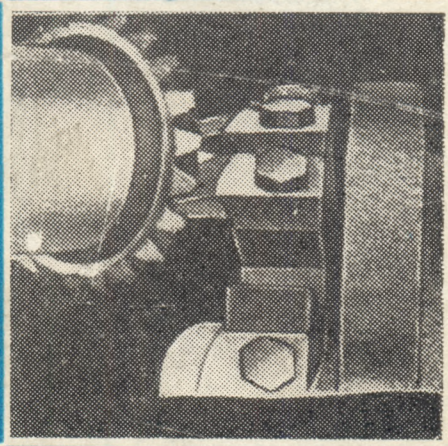
621.914





Я. А. МАЛАХОВ

ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ И РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ И ИХ НАЛАДКА

Я. А. МАЛАХОВ

ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ И РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ И ИХ НАЛАДКА

Одобрено Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для профессионально-технических училищ

Издание второе

Издательство «Высшая школа» Москва 1972

6ПЧ.63
М18

Малахов Я. А.

М18 Зубообрабатывающие и резьбофрезерные станки и их наладка. Учебник. Изд. 2-е, перераб. М., «Высш. школа», 1972 г.

328 стр. с илл.

В книге рассмотрены принципы работы зубообрабатывающих и резьбофрезерных станков, приведены описания наиболее распространенных конструкций этих станков и их кинематические схемы; изложены правила и режимы наладки, основы теории резания металлов и современные методы зубонарезания, сведения о зубчатых зацеплениях, режущем инструменте и приспособлениях, применяемых при выполнении зуборезных работ.

Учебник предназначен для учащихся городских профессионально-технических и технических училищ, он может быть рекомендован для изучения наладчикам и рабочим, выполняющим работу на зубообрабатывающих станках с целью повышения квалификации.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: *Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, Издательство «Высшая школа».*

3—12—4 6ПЧ.63
БЗ—3/17—72 г.

Малахов Яков Алексеевич

ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ
И РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ
И ИХ НАЛАДКА

Редактор Л. В. Мясникова
Художественный редактор В. И. Пономаренко.
Технический редактор Л. А. Григорчук.
Корректор В. В. Кожуткина

Т15834. Сдано в набор 17/IV—72 г. Подп. к печати 16/X—72 г. Формат 60×90¹/₁₆. Объем 20,5 печ. л. 20,67 уч.-изд. л. Изд. № М—164. Тираж 30 000 экз. Цена 59 коп. Зак. 282.
БЗ—3/17 от 11/I—72 г.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.
Издательство «Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ярославль, ул. Свободы, 97.

ВВЕДЕНИЕ

Создание материально-технической базы коммунизма, предусмотренное Программой Коммунистической партии Советского Союза, предполагает переход к новому уровню технологии, производственной культуры и организации производства, введение комплексной механизации и автоматизации.

Директивами XXIV съезда КПСС предусматривается довести производство металлорежущих станков в 1975 году до 230—250 тыс. штук*. Обеспечить опережающий рост производства металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, увеличив выпуск их за пятилетие не менее чем в 3,5 раза. Одновременно расширять выпуск станков высокой и особо высокой точности.

Развитие станкостроения идет по пути автоматизации станков. Применяют автоматические переключения и остановы, вводят гидравлические устройства для перемещения узлов станков и закрепления заготовок, совершенствуют систему смазки и упрощают механизмы передачи движения. Для обработки металлов резанием создаются специальные агрегатные станки и автоматические линии.

Применение в машиностроении автоматизации, станков высокой точности и высокий уровень выполнения технологических процессов требуют от рабочих технических знаний и профессиональных навыков.

Особое значение для подготовки кадров имеет профессионально-техническое образование молодежи, дающее специальные знания и навыки, обеспечивающие высокую производительность труда.

Директивами XXIV съезда КПСС предусматривается за пятилетие подготовить в профессионально-технических учебных заведениях не менее 9 млн. квалифицированных рабочих для всех отраслей народного хозяйства.

В машиностроении широко применяются зубчатые колеса, обеспечивающие наиболее надежный способ передачи движения в механизмах.

Зубчатые колеса являются одними из сложных и точных деталей машин, для изготовления которых требуются станки со сложной наладкой. Зубообрабатывающие станки снабжены точными и сложными механизмами, настройка которых требует расчетов и тщательной наладки.

По технологическим признакам (виду выполняемой работы) различают следующие зубообрабатывающие и резьбообрабатывающие станки:

1. Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес.
2. Зубострогальные для обработки конических колес.
3. Зубофрезерные для обработки цилиндрических колес и шлицевых валиков.

---

* Директивы XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы. Издательство политической литературы, 1971, стр. 25

4. Зубофрезерные для нарезания червячных передач.
5. Зубозакругляющие и для обработки торцев зубьев колес.
6. Резьбофрезерные.
7. Зубоотделочные, притирочные, обкатные.
8. Зубошлифовальные и резьбошлифовальные.
9. Разные зубообрабатывающие.

Дальнейшее подразделение типов производится по размерам и по другим каким-либо особенностям станка, например, по признаку повышенной точности.

Наладчик должен знать основы зубчатых зацеплений, кинематические схемы зубообрабатывающих и резьбофрезерных станков, уметь разбираться в сложных механизмах этих станков, рассчитать по формулам их настройку и произвести наладку.

Подготовка наладчиков должна проводиться не только на высоком профессионально-техническом уровне, но и включать элементы инженерно-технических знаний.

В книге единицы измерения даны в системе МКГСС (основные единицы: метр, килограмм-сила, секунда).

Бурное развитие науки и техники обусловило необходимость обеспечить единообразие и бóльшую точность измерений, а также по-новому определить основные единицы на базе более современных эталонов. Это особенно необходимо в связи с широким развитием средств автоматики и вычислительной техники, а также с расширением научно-технических международных связей.

С 1 января 1963 г. в СССР введена новая система единиц измерений, которая согласно ГОСТ 9867—61 называется «Международная система единиц» и обозначается СИ.

В Международной системе СИ принято 6 основных единиц: метр — для длины, килограмм — для массы, секунда — для времени, градус Кельвина — для термодинамической температуры, ампер — для силы тока и свеча — для силы света.

Кроме основных единиц, в СИ содержатся две дополнительные единицы: радиан — для измерения плоских углов и стерадиан — для измерения телесных углов.

На базе основных и дополнительных единиц разработаны производные единицы (силы, давления, скорости, работы, мощности и др.), которые охватывают измерение величин всех видов: пространства и времени, механических, электрических, тепловых, акустических, световых и др.

Более подробные сведения о Международной системе единиц измерения (СИ) можно получить в брошюре М. Г. Богуславского и К. П. Широкова «Международная система единиц» (изд. 2-е, испр. и доп. М., Издательство стандартов, 1968).

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ И ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Всякий механизм состоит из отдельных звеньев, выполняющих определенные движения. Передача движения между звеньями механизма осуществляется разными способами, но наиболее распространенным и удобным является способ передачи при помощи зубчатых и червячных зацеплений. Малые габариты, небольшая нагрузка на валы и опоры (подшипники), неизменное передаточное отношение числа оборотов, требующееся во многих механизмах и машинах, — вот те достоинства, благодаря которым зубчатые и червячные передачи широко применяются в машиностроении. У этих передач есть и некоторые недостатки, например, сложность точного изготовления их, шум при работе, а в червячных передачах, кроме того, значительная потеря мощности на трение.

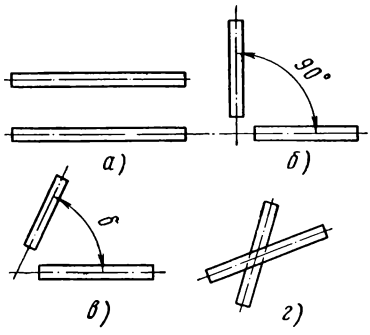


Рис 1. Оси валов в передачах: *а* — параллельные, *б* — пересекающиеся под углом 90°, *в* — пересекающиеся под углом α, *г* — скрещивающиеся

Валы в механизмах, между которыми передается вращение, могут быть расположены по отношению друг к другу следующим образом:

оси валов параллельны друг другу (рис. 1, *а*), пересекаются под прямым углом (рис. 1, *б*) или под каким-либо углом δ (рис. 1, *в*), валы не лежат в одной плоскости и, следовательно, не пересекаются, а скрещиваются (рис. 1, *г*).

В зависимости от расположения валов применяются различные виды зубчатых передач.

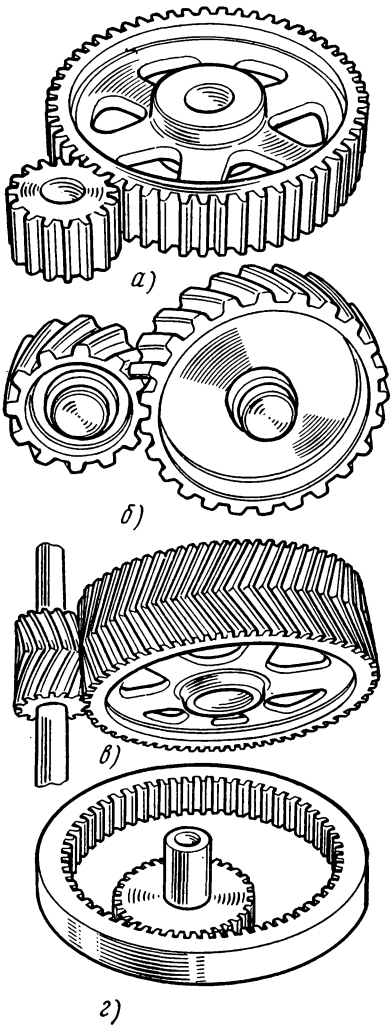


Рис. 2. Зубчатые цилиндрические передачи:

а — прямозубые внешнего зацепления, *б* — косозубые внешнего зацепления, *в* — шевронные, *г* — внутреннего зацепления

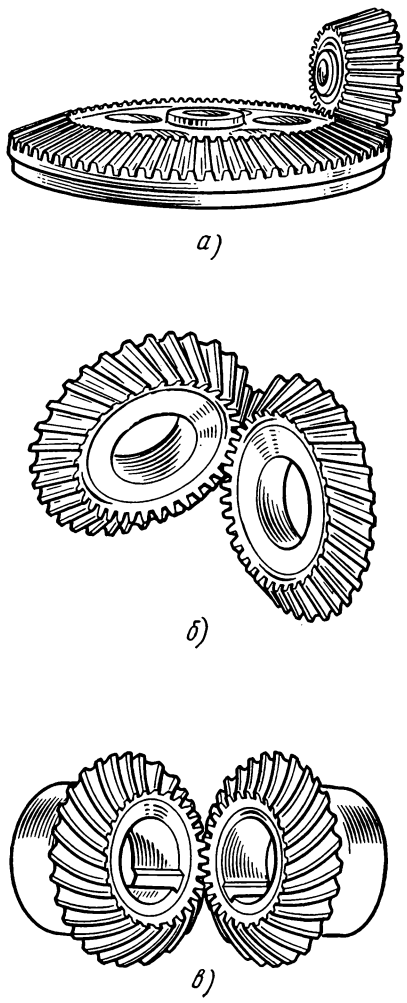


Рис. 3. Зубчатые конические передачи:

а — с прямыми зубьями, *б* — с косыми зубьями, *в* — с криволинейными зубьями

Для передачи вращения между валами с параллельными осями применяют зубчатые цилиндрические передачи внешнего зацепления с прямыми (рис. 2, *а*), косыми (рис. 2, *б*) и шевронными зубьями (рис. 2, *в*); а иногда — цилиндрические передачи внутреннего зацепления (рис. 2, *г*).

Передача вращения между валами с пересекающимися осями осуществляется коническими зубчатыми передачами с прямыми (рис. 3, *а*), косыми (рис. 3, *б*) и криволинейными зубьями (рис. 3, *в*).

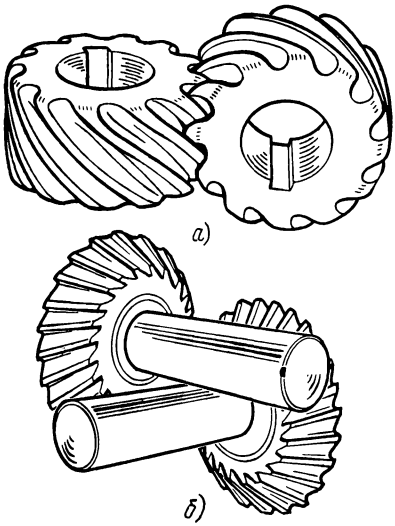


Рис. 4. Передачи между скрещивающимися осями:
а — цилиндрические с винтовыми зубьями, *б* — конические с криволинейными зубьями

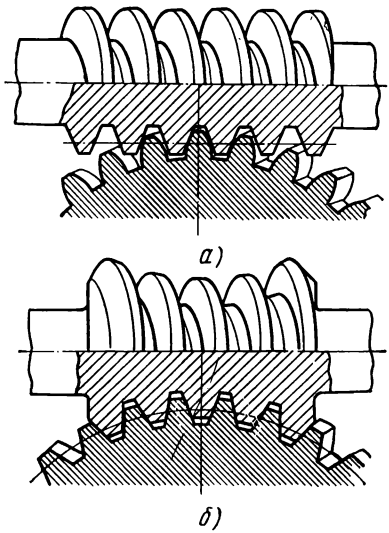


Рис. 5. Червячные передачи:
а — передача с цилиндрическим червяком, *б* — глобоидная передача

Для передачи вращения между валами со скрещивающимися осями применяются цилиндрические винтовые передачи (рис. 4, *а*) и конические гипоидные передачи с криволинейными зубьями (рис. 4, *б*).

При пересечении осей валов под прямым углом наиболее часто применяются червячные передачи с цилиндрическим червяком (рис. 5, *а*), а иногда глобоидные передачи (рис. 5, *б*) с формой профиля витка червяка в виде круговой прямобочной рейки.

Особенно важное значение имеет сочетание в механизме многих зубчатых передач для изменения скорости вращения отдельных звеньев механизма (валов, зубчатых колес).

Механизм, содержащий несколько зубчатых передач, переключающихся для получения разных скоростей движения рабочих органов, называется коробкой передач. Коробки передач, как правило, применяются в станках, автомобилях, тракторах и других машинах, работающих с разными числами оборотов.

При передаче движения от двигателя к рабочему органу машины, когда при большом числе оборотов двигателя требуется получить более медленное движение рабочего органа, часто применяются зубчатые и червячные передачи. Совокупность зубчатых передач, в том числе и червячных, передающих вращение от какого-либо звена механизма к конечному звену (обычно с уменьшением числа оборотов), называется редуктором.

§ 2. ЭВОЛЬВЕНТНЫЕ ПРОФИЛИ ЗУБЬЕВ

В осевом сечении боковые профили зубьев колес, при помощи которых передается вращение от одного колеса к другому, выполняются по эвольвентной кривой.

Если по окружности радиуса r_0 (рис. 6, *а*) обкатывать без скольжения какую-либо прямую BB, то точка A этой прямой, совпадающая в начальный момент с окружностью, при перекатывании прямой будет перемещаться, занимая положения A_1, A_2, A_3, и опишет кривую — эвольвенту. При этом прямая BB все время будет касаться окружности в точках N_1, N_2, N_3.

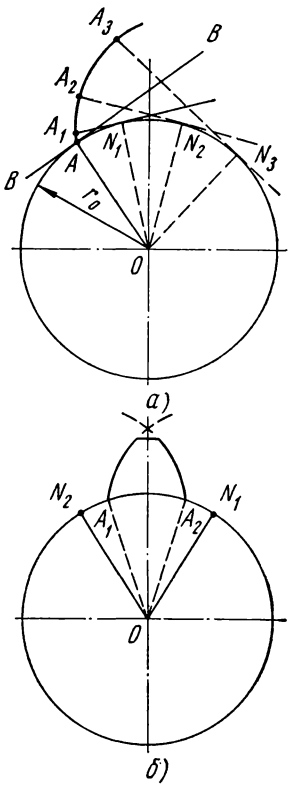


Рис. 6. Эвольвентная кривая:

а — образование эвольвенты, *б* — эвольвентные профили зуба

Эвольвентой называется кривая, описанная какой-либо точкой прямой при ее обкатывании без скольжения по окружности. Окружность радиуса r_0, по которой обкатывается прямая, называется *основной окружностью*. Прямая, обкатываемая по окружности, называется *производящей прямой*. Точка A начала эвольвенты, лежащая на основной окружности, называется *начальной точкой эвольвенты* или *основанием эвольвенты*.

Форма эвольвенты зависит только от величины радиуса r_0 основной окружности. Если от одной и той же основной окружности построить несколько эвольвент, то все они будут одинаковы.

Если построить две эвольвенты противоположного направления (рис. 6, *б*), то они образуют боковые профили зуба колеса.

Возьмем на эвольвенте какую-либо точку M (рис. 7). Отрезок производящей прямой от точки N касания ее с основной окружностью до точки M на эвольвенте называется *радиусом кривизны эвольвенты* в данной точке, или разворотом эвольвенты. Радиус кривизны обозначается буквой ρ. Угол α между радиусом R окружности, проведенной через точку M, и радиусом r_0,

проведенным в точку N касания производящей прямой с основной окружностью, называется *углом давления* (или углом профиля на эвольвенте) в данной точке M. Величина угла давления в разных точках эвольвенты различна: у основания эвольвенты, в точке A, этот угол равен нулю и при перемещении точки по эвольвенте увеличивается.

Угол φ между радиусами основной окружности, проведенными в точку A основания эвольвенты и в точку N касания производящей прямой, проведенной из точки M эвольвенты, называется *углом развернутости эвольвенты* или углом разворота эвольвенты для ее точки M.

Так как при образовании эвольвенты от точки A до точки M радиус кривизны при обкатывании развертывается с основной окружностью, то дуга $AN=\rho$. Из $\triangle ONM$

$$\rho = r_0 \operatorname{tg} \alpha \text{ и } r_0 = R \cos \alpha,$$

или

$$R = \frac{r_0}{\cos \alpha}, \quad \text{а} \quad \frac{r_0}{R} = \cos \alpha.$$

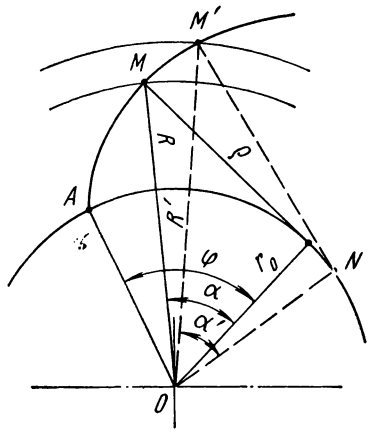


Рис 7. Параметры эвольвенты

Если взять любую другую точку, скажем M' на эвольвенте, и провести через нее окружность радиусом R', то получим такую же зависимость $r_0=R' \cos \alpha'$. Сравнивая значения величин r_0 для обеих точек M и M', получим $R \cos \alpha=R' \cos \alpha'$.

Произведение радиуса окружности, проведенной через какую-либо точку эвольвенты, на косинус угла давления для этой точки есть величина постоянная.

§ 3. ПРЯМОЗУБЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕСА

Цилиндрические колеса с внешними зубьями. В машиностроении наиболее часто применяются прямозубые цилиндрические колеса с внешними зубьями, в которых различают отверстие под ось *1* и два элемента (рис. 8): тело колеса *2* — часть зубчатого колеса, в состав которого не входят зубья, и зубчатый венец *3* — часть зубчатого колеса, состоящая из зубьев и некоторой части тела колеса, связывающей их.

Для определения размеров зубчатого венца рассчитывают две исходные величины: диаметр $d_д$ делительной окружности и модуль m.

Величина диаметра делительной окружности определяет размер зубчатого венца, а модуль — размер его зубьев. Чем больше этот диаметр, тем больше зубчатый венец, и чем больше модуль, тем больше размеры зубьев колеса

Модулем называется диаметральный шаг, т. е. величина, получающаяся от деления диаметра делительной окружности на число зубьев z зубчатого венца:

$$m = \frac{d_д}{z}, \quad \text{откуда } d_д = mz,$$

величина модуля выражается в миллиметрах.

Делительной окружностью называется окружность зубчатого венца, диаметр которой равен произведению модуля на число зубьев. Такая окружность единственная на зубчатом венце. Она называется делительной потому, что ее диаметр делится на число зубьев, чтобы получить модуль, а длина делится на число зубьев, чтобы получить шаг зацепления.

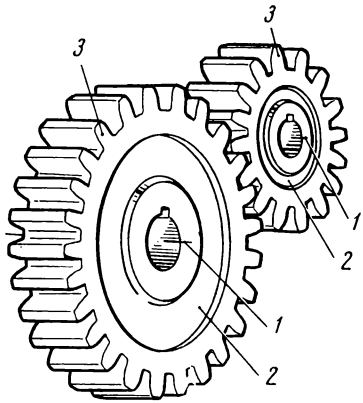


Рис. 8. Элементы зубчатых колес

Шаг зацепления. Расстояние между соседними одноименными (правыми или левыми) профилями зубьев или между серединами толщин зубьев, измеренное по дуге делительной окружности, называется *шагом зацепления* t (рис. 9).

Шаг зацепления равен величине, получающейся от деления длины делительной окружности на число зубьев $t = \frac{\pi d_д}{z}$. Подставив в эту формулу значение $\frac{d_д}{z} = m$, получим $t = \pi m$ или $m = \frac{t}{\pi}$, т. е. модуль в π раз меньше шага зацепления.

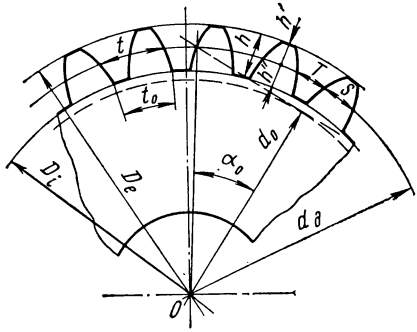


Рис. 9. Размеры венца зубчатого колеса:

$d_д$ — диаметр делительной окружности, d_0 — диаметр основной окружности, D_e — диаметр окружности вершин, D_i — диаметр окружности впадин, t — шаг зацепления, t_0 — шаг основной окружности, S — толщина зуба, T — ширина впадины, h' — высота головки зуба, h'' — высота ножки зуба, h — полная высота зуба, α_0 — угол зацепления

Зубчатые колеса с зубьями эвольвентного профиля и одинакового модуля могут входить в правильное зацепление независимо от числа их зубьев, что используется в гитарах сменных колес и в коробках передач, где с одним и тем же колесом включаются в зацепление колеса с разными числами зубьев. Величины модулей стандартизованы по ГОСТ 9563—60 (табл. 1).

Обозначения величин венца прямозубого колеса показаны на

Таблица 1

Модули зубчатых колес

Ряды модулей	Модули, *мм*											
1-й	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60
2-й	0,055	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,45	0,55	0,70
1-й	0,80	1,00	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
2-й	0,90	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7,0	9,0	11,0
1-й	12	16	20	25	32	40	50	60	80	100	—	—
2-й	14	18	22	28	36	45	55	70	90	—	—	—

Примечание. При назначении величин модуля первому ряду следует отдавать предпочтение.

рис. 9. Размеры зуба принимают в зависимости от модуля: высота головки $h'=km$; высота ножки $h''=m(k+c)$, где k — коэффициент высоты головки, c — коэффициент радиального зазора, равный 0,25. Номинальные толщина зуба S и ширина впадины T обычно равны между собой и одновременно равны половине шага зацепления:

$$S = T = \frac{\pi m}{2}.$$

При нарезании зубьев толщина их берется несколько меньше за счет отклонения от номинального размера, чтобы в зацеплении с другим колесом образовался боковой зазор.

Величина наружного диаметра зубчатого венца определяется в зависимости от модуля и числа зубьев по формуле

$$D_e = m(z + 2k).$$

Угол зацепления. Как уже говорилось выше, угол давления вдоль эвольвенты не одинаков. Угол давления эвольвенты в точке пересечения ее с делительной окружностью называется *углом зацепления* и обозначается α_0. Этот угол стандартизован и принят равным 20°. Иногда применяют другие, нестандартные углы.

Шаг по основной окружности. Кроме шага зацепления, измеряемого по делительной окружности, практическое значение имеет шаг t_0, равный длине дуги основной окружности между основаниями двух соседних одноименных эвольвент (см. рис. 9). Величины шагов по окружности пропорциональны их диаметрам:

$$\frac{t_0}{t} = \frac{d_0}{d_д} = \cos\alpha,$$

откуда

$$t_0 = t \cos \alpha_0.$$

Зубчатые передачи прямозубых цилиндрических колес внешнего зацепления. При передаче вращения от одного зубчатого колеса к другому зубья одного колеса входят во впадины другого и профили их соприкасаются друг с другом. Профили зубьев, соприкасающиеся в зацеплении, называются *сопряженными профилями*. Два колеса, входящие в зацепление, образуют зубчатую передачу и называются *колесами передачи*. Колесо передачи, получающее вращение от какого-либо другого звена механизма, называется *ведущим*, а колесо, приводимое во вращение ведущим, называется *ведомым* колесом. Колеса передачи внешнего зацепления вращаются в разные стороны.

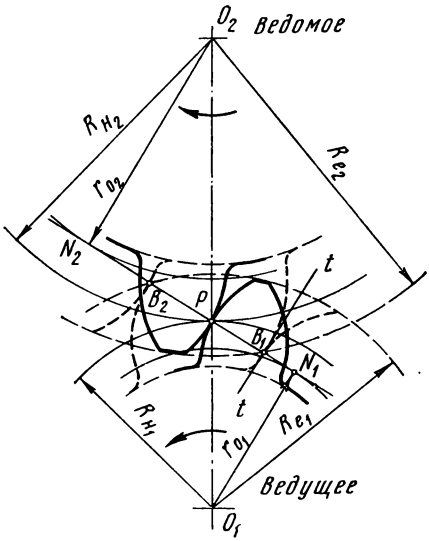


Рис. 10. Линия зацепления зубчатой передачи:

R_{H_1} и R_{H_2} — радиусы начальных окружностей, r_{O_1} и r_{O_2} — радиусы основных окружностей, R_{e_1} и R_{e_2} — радиусы окружностей вершин

Профили зубьев колес передачи соприкасаются по прямой линии, расположенной вдоль длины зуба; в сечении же, перпендикулярном осям колес, профили соприкасаются в точке, которая называется *точкой контакта*.

Проведем через точку контакта B_1 (рис. 10) линию $t - t$, касательную к сопрягаемым профилям зубьев, и перпендикуляр N_1N_2 к этой линии. По закону образования эвольвент этот перпендикуляр будет касательной к основным окружностям обоих колес и пересечет линию центров O_1O_2 в точке P, которая является *полюсом зацепления*.

Окружности колес с радиусами R_{H1} и R_{H2}, проходящие через полюс зацепления, называются *начальными окружностями*; при передаче вращения они соприкасаются в полюсе зацепления и катятся одна по другой без скольжения.

У зубчатого колеса, рассматриваемого без сопряжения с другим колесом, начальная окружность отсутствует.

Если по делительной окружности номинальная толщина зуба одного колеса передачи равна ширине впадины другого, то начальные окружности совпадают с делительными.

Если этого равенства не соблюдается, то начальные окружности отличаются от делительных.

Линия зацепления. Профили зубьев колес передачи в процессе вращения соприкасаются разными своими точками и, следовательно, точка контакта их перемещается по боковым профилям. При вращении точка контакта перемещается по линии N_1N_2, проходящей через полюс зацепления и являющейся общей касательной к основным окружностям колес передачи.

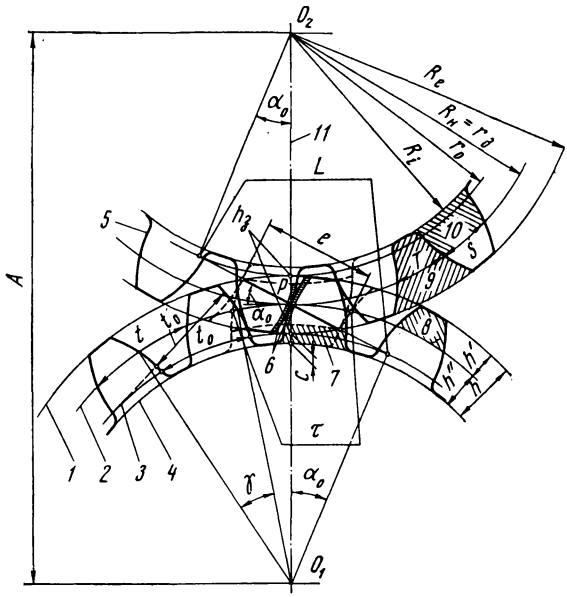


Рис. 11. Зубчатая передача внешнего зацепления:

1 — окружность вершин, *2* — начальная окружность, *3* — основная окружность, *4* — окружность впадин, *5* — профиль зуба, *6* — активный профиль, *7* — корень зуба, *8* — головка зуба, *9* — впадина, *10* — ножка зуба, *11* — линия центров, *A* — межосевое расстояние, γ — угловой шаг, α_0 — угол зацепления, t — шаг зацепления, t_0 — основной шаг, τ — дуга зацепления, *P* — полюс зацепления, $h_з$ — глубина захода, h' — высота головки зуба, h'' — высота ножки зуба, h — полная высота зуба, *S* — толщина зуба, *T* — ширина впадины, R_e — радиус окружности вершин, $R_н = r_д$ — радиус начальной окружности, r_0 — радиус основной окружности, R_i — радиус окружности впадин, *L* — линия зацепления, l — длина линии зацепления, *C* — радиальный зазор

Линия перемещения контактной точки сопряженных профилей зубьев называется *линией зацепления* передачи. Длина линии зацепления ограничивается точками B_1 и B_2, в которых окружности вершин колес пересекают линию зацепления; за этими точками профили зубьев выходят из зацепления.

Зубчатая передача внешнего зацепления зубчатых колес изображена на рис. 11. Кратчайшее расстояние между осями зубчатых колес

называется *межосевым расстоянием* зубчатой передачи. Межосевое расстояние A равно сумме радиусов начальных окружностей:

$$A = R_{н1} + R_{н2},$$

или

$$A = \frac{D_{н1} + D_{н2}}{2}.$$

Если начальные окружности совпадают с делительными, то межосевое расстояние может быть выражено через модуль и число зубьев колес:

$$A = m\frac{z_1 + z_2}{2}.$$

В зубчатой передаче часть ножек зубьев не участвует в зацеплении: профили зубьев входят в контакт не у самого начала их, а на линии зацепления в точке B_1 (см. рис. 10). Профиль зуба, состоящий в контакте, называется *рабочим* (активным) *профилем*. Активный профиль (см. рис. 11) отмечен двойной линией. Точка B_1 (см. рис. 10), где начинается зацепление, называется *началом активного профиля*.

Передаточное отношение и передаточное число. Зубчатые колеса передачи чаще всего вращаются с неодинаковыми числами оборотов: колесо с меньшим числом зубьев делает большее число оборотов. Соотношение чисел оборотов вращающихся валов или зубчатых колес характеризуется передаточным отношением.

Передаточным отношением называется отношение чисел оборотов в единицу времени двух сопрягаемых колес. Передаточное отношение между числами оборотов 2-го и 1-го колес:

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

Числа оборотов зубчатых колес обратно пропорциональны числам зубьев их, поэтому передаточное отношение в зависимости от чисел зубьев выражается формулой

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}.$$

Передаточным числом называется отношение числа оборотов ведущего вала или колеса к числу оборотов ведомого:

$$i = \frac{n_{1\ ведущ}}{n_{2\ ведом}} = \frac{z_2}{z_1}.$$

Зацепление колеса с рейкой. Если вместо одного из колес передачи взять зубчатую рейку с профилями зубьев, выполненными по прямым линиям, наклоненными под углом зацепления $\alpha_0 = 20°$, то получим

зацепление колеса с рейкой (рис. 12). При вращении колеса вокруг оси профили зубьев его будут нажимать на профили зубьев рейки, и она начнет поступательно перемещаться. Рейка имеет начальную прямую, соответствующую начальной окружности колеса. Точка пересечения

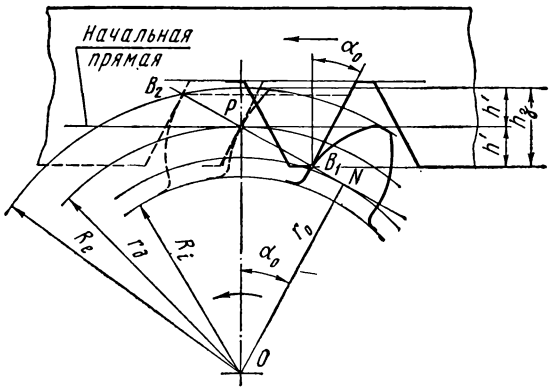


Рис. 12. Зацепление колеса с рейкой

перпендикуляра к профилю зуба рейки (P), касательного к основной окружности, с линией OP называется *полюсом зацепления*. При зацеплении зубьев колеса и рейки обкатывание осуществляется по начальной окружности колеса и начальной прямой рейки с касанием в полюсе зацепления P.

Линия зацепления в этом случае также касается основной окружности колеса и проходит через полюс зацепления перпендикулярно профилю зуба рейки. Длина линии зацепления ограничивается точками пересечения ее с вершиной зуба рейки (точка B_1) и с вершиной зуба колеса (точка B_2). Размеры зуба рейки принимаются в зависимости от модуля, как и размеры зуба колеса.

Исходный контур профиля зубчатой рейки. Так как зубчатое колесо может входить в зацепление с зубчатой рейкой, то для рейки установлен исходный контур (ГОСТ 3058—54), размеры которого определяют размеры зубьев зубчатых колес. На рис. 13,*а* указаны размеры исходного контура. Величина зазора $C =$

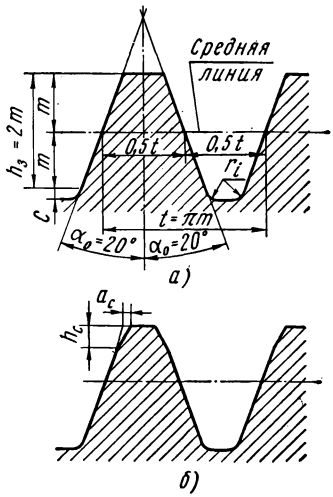


Рис. 13. Исходный контур профиля зубьев рейки:
а — нормальный, *б* — фланкированный

$=0{,}25\ m$, радиусы закругления у основания зуба $r_i=0{,}4\ m$. Исходный контур определяет, с одной стороны (незаштрихованная часть поля), размеры зуба рейки, а с другой стороны (незаштрихованная часть поля), размеры зубьев режущего инструмента реечного типа для нарезания зубьев колес по методу обкатки (нарезание в процессе зацепления нарезаемого колеса с зубьями инструмента).

Чтобы зубья колес при работе плавно входили в зацепление, профиль исходного контура у вершины иногда делается по более пологой эвольвенте с высотой h_c и шириной a_c — фланкируется (рис. 13,*б*).

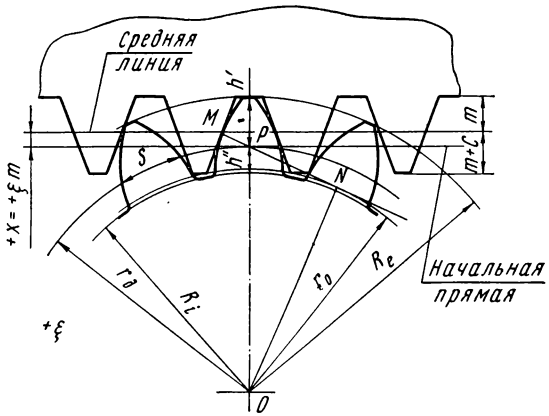


Рис. 14 Смещение исходного контура от центра колеса

Исправление профиля зубьев колес смещением исходного контура. Нарезаемые зубья колес по толщине и по размерам головки и ножки зависят от установки режущего инструмента относительно оси нарезаемого колеса. Отодвигая или приближая режущий инструмент к центру колеса, можно изменять толщину зуба по делительной окружности и соотношение высоты головки и ножки.

Если режущий инструмент отодвинуть от центра колеса, то средняя линия исходного контура отодвинется и делительной окружности колеса будет касаться начальная прямая исходного контура, где ширина впадины шире, и зуб колеса на делительной окружности получится толще (рис. 14).

Величина смещения исходного контура обозначается буквой x, а отношение величины смещения к модулю называется *коэффициентом смещения* $\xi = \frac{x}{m}$. При смещении исходного контура от центра величина смещения и коэффициент смещения принимаются положительными и толщина зуба колеса по делительной окружности будет толще:

$S = \frac{\pi m}{2} + 2\xi m \operatorname{tg} \alpha_0$. Если смещение к центру, то величина смещения и коэффициент смещения — отрицательные и толщина зуба тоньше: $S = \frac{\pi m}{2} - 2\xi m \operatorname{tg} \alpha_0$.

Зубчатые передачи цилиндрических колес внутреннего зацепления. Иногда условия работы механизма или конструктивные его особенности требуют расположения зубьев на одном из колес передачи на внутренней части зубчатого венца. В этом случае колесо с внутренними зубьями входит в зацепление с колесом, имеющим внешние зубья: получается передача внутреннего зацепления, при этом оба колеса вращаются в одну сторону.

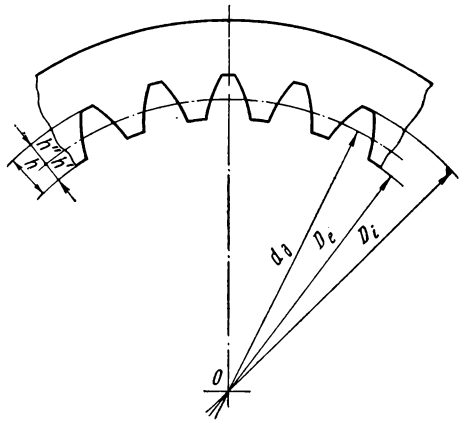


Рис. 15. Параметры колеса с внутренними зубьями:

$d_д$ — диаметр делительной окружности, D_e — диаметр окружности вершин, D_i — диаметр окружности впадин, h' — высота головки зуба, h'' — высота ножки зуба, h — полная высота зуба

Все определения, соотношения размеров и основные понятия, рассмотренные для цилиндрических колес и передач с внешним зацеплением, относятся и к колесам с внутренним зацеплением. В колесах с внутренними зубьями окружность вершин зубьев меньше делительной окружности, а окружность впадин больше, а потому высота головки зуба отсчитывается от делительной окружности к центру колеса, а высота ножки — от центра (рис. 15).

§ 4. КОСОЗУБЫЕ И ШЕВРОННЫЕ КОЛЕСА

Косозубые цилиндрические колеса отличаются от прямозубых косым направлением зубьев вдоль ширины венца. Зубья располагаются вдоль винтовой линии по делительному цилиндру.

Делительным цилиндром называется цилиндр, основанием которого является делительная окружность. Направление винтовой линии характеризуется углом наклона ее на делительном цилиндре. *Угол наклона линии* косозубых колес — это угол между направлением касательной к винтовой линии зуба на делительном цилиндре и осью колеса (рис 16) Направление винтовой линии, а значит и направление зуба может быть правое или левое. Для определения направления зубьев надо смотреть на них вдоль оси колеса : если при перемещении какой-либо точки вдоль линии зуба она поворачивается по часовой стрелке, то зубья правого направления, если против часовой стрелки, то левого.

Размеры зубьев косозубых колес могут характеризоваться величинами, измеряемыми в плоскости NN нормального сечения зубьев или в торцовой плоскости. К буквенным обозначениям величин добавляется индекс (дополнительное обозначение): для нормальных величин буква n, для торцовых буква s. Величины в торцовом сечении больше таких же величин в нормальном сечении; соотношение между ними выражается формулами: шаг торцовый

$$t_s = \frac{t_n}{\cos\beta};$$

$$d_д = m_s z; \quad \text{модуль} \quad m_s = \frac{m_n}{\cos\beta}; \quad \text{угол зацепления} \quad \operatorname{tg}\alpha_s = \frac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}.$$

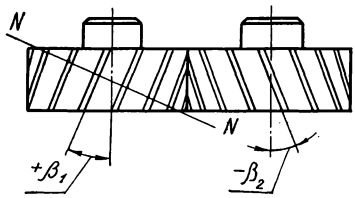


Рис. 16. Сопрягаемая пара косозубых цилиндрических колес: $+\beta_1$ и $-\beta_2$—углы наклона винтовых линий

Величины зубьев косозубых колес определяются в зависимости от нормального модуля при помощи тех же коэффициентов, что и для прямозубых колес.

В зубчатую передачу входят косозубые колеса обязательно с разными направлениями зубьев: одно колесо правого направления, другое — левого.

Если одно и то же колесо выполнить с двумя направлениями зубьев по ширине его: половина правого направления, половина левого, то такие колеса называются *шевронными*, а половины с разными направлениями зубьев — *полушевронами*.

§ 5. ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Червячные передачи с цилиндрическим червяком. Червячные передачи осуществляются при помощи червяка и червячного колеса, оси которых скрещиваются под прямым углом. Червяк представляет собой цилиндр, на поверхности которого нарезаны по винтовой линии витки определенного профиля. Витков может быть один или несколько; число витков называется *числом заходов* и обозначается буквой K. *Осевым шагом* червяка называется расстояние между точками одноименных профилей двух соседних витков, измеренное вдоль оси червяка (рис. 17). Шаг t_a определяется в зависимости от осевого модуля m_a по формуле $t_a = \pi m_a$. Винтовые линии червяка могут быть правые и левые, в соответствии с этим, червяки разделяют на правые и левые. По числу заходов червяки бывают *однозаходные*, *двухзаходные*, *трехзаходные* и т. д.

Профили витков червяков бывают разных форм: эвольвентные в торцовом сечении, прямолинейные в перпендикулярном сечении витка, прямолинейные в перпендикулярном сечении впадины и прямолинейные в осевом сечении. Червяки с прямолинейным профилем витка в

осевом сечении называются *архимедовыми*. В зацеплении с червячными колесами преимущественно применяются архимедовы червяки, профиль витков которых в осевом сечении имеет форму равнобокой трапеции, как и зубчатая рейка.

Угол наклона каждой стороны профиля равен углу зацепления $\alpha_0=20°$.

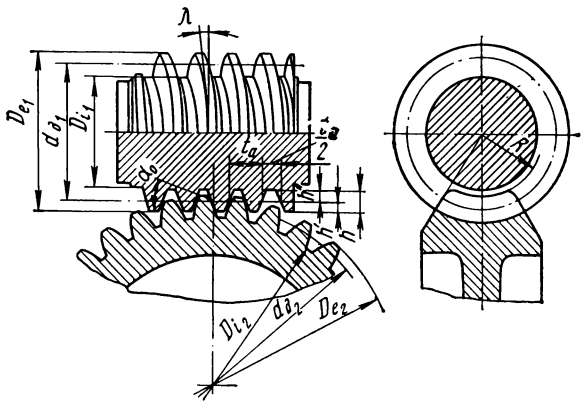


Рис. 17. Параметры червячной передачи:
D_{e_1} — диаметр наружной окружности червяка, $d_{д_1}$ — диаметр делительной окружности червяка, D_{i_1} — диаметр окружности впадин червяка, D_{e_2} — диаметр окружности вершин колеса, $d_{д_2}$ — диаметр делительной окружности колеса, d_{i_2} — диаметр окружности впадин колеса

В червячной передаче делительная окружность колеса касается делительной прямой червяка. Эта прямая является образующей делительного цилиндра червяка, диаметр которого обозначается $d_{д1}$. Винтовая линия витка червяка имеет угол подъема λ. *Углом подъема* называется угол между касательной к винтовой линии на делительном цилиндре червяка и касательной к окружности этого цилиндра. Высота головки и ножки витков червяка, как и зубьев рейки отсчитывается от делительной прямой; размеры их определяются в зависимости от модуля, как у зубчатых колес.

Червячное колесо имеет винтовые зубья того же направления, что и направление витков червяка. Угол наклона зубьев колеса на делительном цилиндре его равен углу подъема витков червяка. Торцовый шаг колеса равен осевому шагу червяка, т. е. $t_s=t_a$; в соответствии с этим модуль червячного колеса принимается также в торцовой плоскости. Размеры зубьев колеса принимаются так же, как и размеры витков червяка, в зависимости от торцового модуля по тем же коэффициентам, что и для цилиндрических колес.

Глобоидные червячные передачи. Глобоидные червячные передачи отличаются от обыкновенных цилиндрических формой червяка и про-

филем зубьев колеса. Глобоидный червяк выполняется в форме глобоида — тела вращения, образующей которого является дуга окружности. На глобоиде нарезаны витки с шагом t, измеряемым по делительной окружности глобоидного колеса радиуса $r_{д_2}$ (рис. 18).

Зубчатый венец глобоидного червячного колеса имеет такую же форму, как у обыкновенного червячного колеса с выточкой по наружному диаметру для размещения червяка.

В глобоидной передаче исходные размеры зубьев колеса и витков червяка рассматриваются в главной плоскости, проходящей через ось червяка перпендикулярно оси колеса, и определяются в наименьшем «горловом» сечении B — B глобоида червяка: для червяка от образующей цилиндра радиуса $r_{д_1}$, для колеса от делительной окружности радиуса $r_{д_2}$.

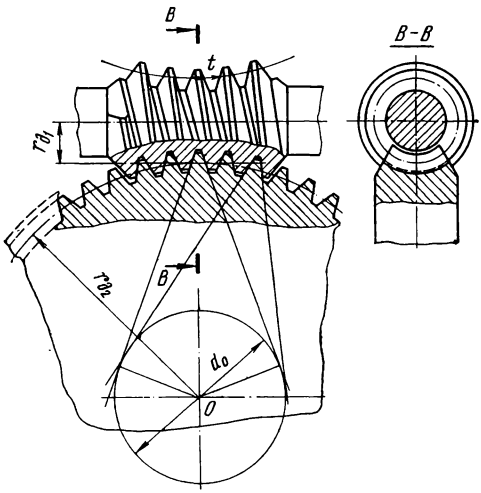


Рис. 18. Параметры глобоидной червячной передачи

Профили витков червяка и зубьев колеса образованы прямыми, касательными к окружности диаметром d_0, которая называется *профильной окружностью*. При работе глобоидной передачи профили зубьев колес и витков червяка касаются друг друга по всей высоте зуба по прямым линиям, продолжение которых все время в процессе вращения касается профильной окружности.

§ 6. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ НОВИКОВА

Все рассмотренные выше цилиндрические передачи имеют один и тот же принцип зацепления: сопряженные профили зубьев при вращении колес обкатываются вдоль высоты зубьев в плоскости, перпендикулярной осям колес (в торцовой плоскости). Профили зубьев выполнены по эвольвенте и зацепление это называется эвольвентным.

Советский ученый М. Л. Новиков в 1956 г. разработал новую систему зубчатого зацепления, отличающуюся от эвольвентной. Эта система называется «зацеплением Новикова».

В зацеплении Новикова сопряженные профили зубьев не обкатываются по высоте в торцовой плоскости и выполнены не по эвольвенте, а по дугам окружностей: профиль зубьев меньшего колеса по выпуклой радиуса r_1, большего по вогнутой радиуса r_2 (рис. 19).

Начальные окружности, шаг по делительной окружности, модуль имеют такие же определения, как и в эвольвентном зацеплении.

Процесс обкатки профилей зубьев с зацеплением Новикова проис-

ходит следующим образом (рис. 19 и 20). При вращении колес начальные окружности катятся одна по другой и точка A контакта профилей, расположенная на окружности радиусов R_{a_1} и R_{a_2}, в начальный момент зацепления зубьев находится у торца. В процессе вращения контактная точка перемещается параллельно осям колес от нижнего торца к верхнему. На рис. 20 изображено положение, когда точка контакта переместилась от нижнего торца на середину ширины колеса; в нижнем торце профили разошлись и вышли из зацепления. Точка контакта перемещается вдоль ширины колеса до тех пор, пока не дойдет до верхнего торца, где и заканчивается зацепление данной пары зубьев. К этому моменту должна войти в зацепление в нижнем торце следующая пара зубьев. При перемещении контактной точки обкатывание зубьев происходит по винтовой кривой наклона зубьев вдоль их длины.

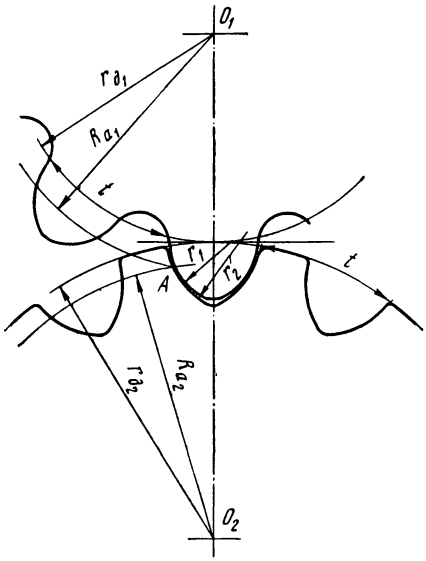


Рис. 19. Параметры зубчатых колес с зацеплением Новикова

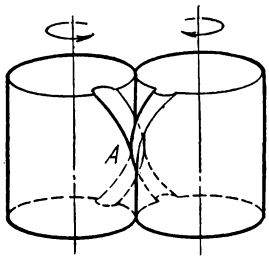


Рис. 20. Схема обкатки профилей зубьев с зацеплением Новикова

На рис. 21 изображена передача с зацеплением Новикова. Так как профили одних зубьев выпуклые, а других вогнутые и обкатка происходит по винтовым кривым большого радиуса, то поверхности их соприкосновения больше, чем у эвольвентного зацепления, а потому колеса с зацеплением Новикова при тех же размерах могут выдерживать давление на зубья в 2—3 раза большее, чем эвольвентные. В этом заключается их преимущество перед эвольвентными.

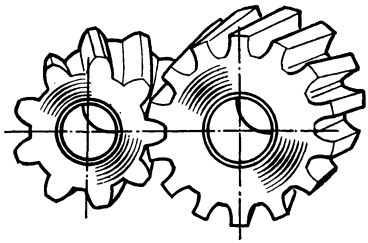


Рис. 21. Зубчатая передача с зацеплением Новикова

§ 7. КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА

Прямозубые конические колеса. Конические колеса с прямыми зубьями по конструкции и принципу зацепления одинаковы, независимо от того, расположены ли их оси в зацеплении под прямым углом или под каким-либо углом δ. Конические передачи с осями, расположенными под прямым углом, называются *ортогональными*; они наиболее часто применяются в машиностроении.

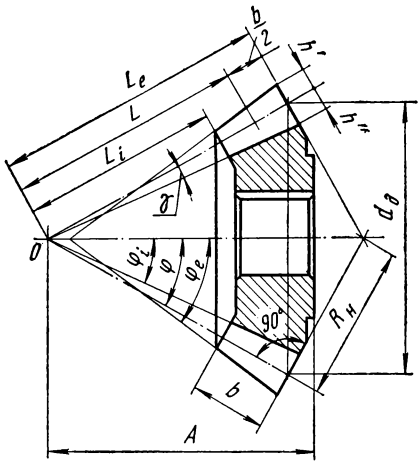


Рис. 22. Параметры конического колеса:

$d_д$ — диаметр делительной окружности, φ — угол начального конуса, φ_i — угол внутреннего конуса, φ_e — угол внешнего конуса, L_e, L и L_i — длина образующей делительного конуса соответственно до большого торца, до середины длины зуба, до меньшего торца, A — расстояние от базового торца колеса до вершины конуса, b — длина зуба, $R_н$ — длина образующей дополнительного конуса, h' — высота головки зуба, h'' — высота ножки зуба, γ — угол ножки зуба

Профили зубьев их выполняются по эвольвенте с углом зацепления 20°. Зависимость между диаметром делительной окружности, шагом, числом зубьев и модулем у конических колес выражается такими же формулами, как и у цилиндрических. В соответствии с делительной окружностью в конических колесах рассматривается образующая делительного конуса, величина которой от вершины конуса обозначается: до большого торца — L_e, до малого — L_i, до середины длины зуба L; а также углы φ делительного конуса и φ_i внутреннего конуса (рис. 22).

Косозубые конические колеса. Для увеличения плавности зацепления конические колеса могут быть выполнены с косыми зубьями, аналогично косозубым цилиндрическим колесам. У косозубых конических колес зубья направлены не к вершине делительного конуса, как у прямозубых, а по касательной к некоторой окружности радиуса e (рис. 23). Эта окружность называется *окружностью эксцентриситета*, а величина радиуса e — эксцентриситетом сдвига. Угол наклона зубьев по середине длины их обозначается β. Величина эксцентриситета равна:

$$e = L \sin \beta.$$

Конические колеса с круговыми зубьями. В машиностроении часто применяют конические колеса с круговыми зубьями, образованными дугой окружности, расположенной на конической поверхности колеса. Эти колеса работают более плавно и бесшумно, чем колеса с прямыми зубьями. Расположение окружности радиуса R_0, образующей зубья, характеризуется углом между касательной к окружности зубьев в

точке P и образующей OP делительного конуса (рис. 24). Этот угол называется *углом спирали* и обозначается буквой β.

Профили круговых зубьев по высоте выполняются также эвольвентными с углом зацепления 20°, но касание сопрягаемых профилей при

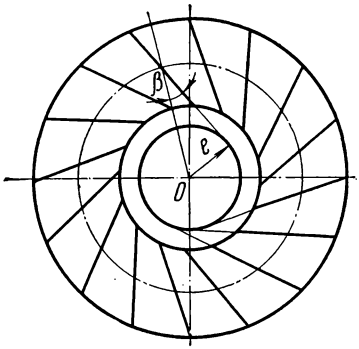


Рис. 23. Направление зубьев косозубых конических колес

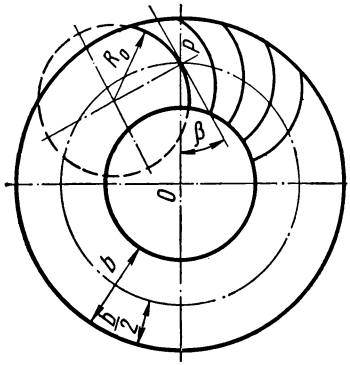


Рис. 24. Угол наклона зубьев конических колес с круговыми зубьями

обкатке в процессе зацепления происходит не по всей боковой поверхности их, а по середине высоты и длины на некотором участке. Следы касания профилей образуют пятно контакта. Все остальные параметры конических колес с круговыми зубьями и зависимости между ними такие же, как у конических колес с прямыми зубьями.

Конические колеса с круговыми зубьями в зависимости от направления наклона зубьев выполняются правыми и левыми (рис. 25). Для определения наклона зубьев нужно смотреть на колесо со стороны малого торца: если точка при движении по зубу от центра колеса к ободу поворачивается по часовой стрелке, то направление наклона зубьев правое (правое колесо); если точка поворачивается против часовой стрелки, то направление наклона зубьев левое (левое колесо). Сопрягаемые колеса в передаче должны быть разноименными: одно правое, другое левое.

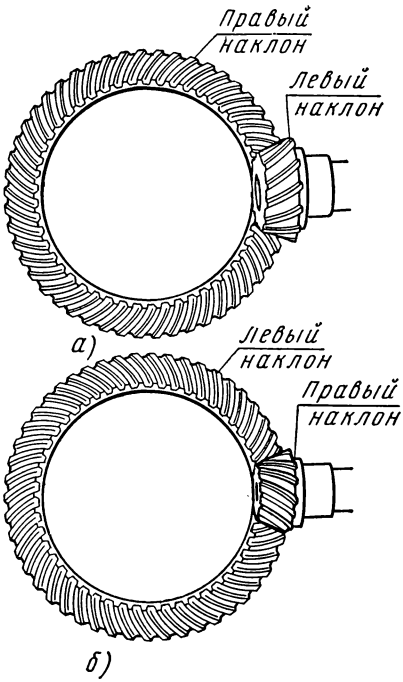


Рис. 25. Конические передачи с круговыми зубьями:
а — левая передача, *б* — правая передача

Гипоидные конические колеса. Гипоидные колеса служат для передачи вращения между непересекающимися (скрещивающимися) валами, когда по конструктивным соображениям оба вала продлены за пределы зубчатых колес передачи или когда требуется повышенная плавность передачи вращения, как например, в приводах заднего моста автомобиля. Кроме того, гипоидные колеса целесообразно применять в передачах с большим передаточным числом, где имеет значение повышение прочности меньшего колеса.

Аналогично коническим колесам с круговыми зубьями гипоидные колеса имеют криволинейные круговые зубья. Сопряжение профилей зубьев происходит только на некотором участке в виде пятна контакта.

ГЛАВА II

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

§ 8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАХ

Способы механической обработки резанием отличаются различными видами применяемого инструмента и характером движения инструмента и заготовки, но основные понятия и определения являются одинаковыми для различных способов обработки. Несмотря на различие конструктивных форм режущих инструментов, режущую часть любого, даже самого сложного из них, в том числе и зуборезного, можно рассматривать как сочетание нескольких резцов той или иной формы.

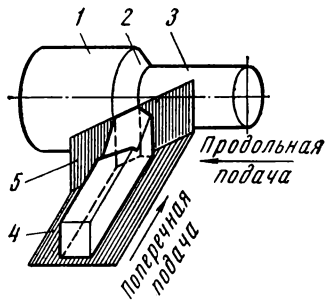


Рис. 26. Поверхности обрабатываемой детали и плоскости установки резца в процессе резания

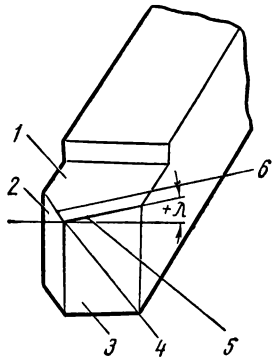


Рис. 27. Элементы режущей части резца

Резец является тем режущим инструментом, на котором проще всего можно рассмотреть все основные элементы.

При обработке металлов резанием поверхности на обрабатываемой заготовке называются (рис. 26): обрабатываемая поверхность *1*, с которой срезается слой металла; поверхность резания *2*, образующаяся на заготовке непосредственно при отделении стружки режущей кромкой инструмента; и обработанная поверхность *3*, получающаяся после среза слоя металла.

В процессе резания рассматриваются еще две плоскости: плоскость резания *5*, касательная к поверхности резания и проходящая через режущую кромку, снимающую стружку (при криволинейной режущей кромке плоскость резания заменяется линейчатой поверхностью), и основная плоскость *4*, параллельная продольной и поперечным подачам.

На режущей части резца различают следующие элементы (рис. 27): передняя поверхность *1*, по которой сходит стружка; главная задняя поверхность *3*, обращенная к поверхности резания; вспомогательная задняя поверхность *2*, обращенная к обработанной поверхности; главная режущая кромка *5*, образованная пересечением передней и главной задней поверхностей и отделяющая слой срезаемого металла; вспомогательная режущая кромка *6* и вершина *4*, образованная пересечением главной и вспомогательной режущих кромок. Главная режущая кромка выполняет основную работу резания.

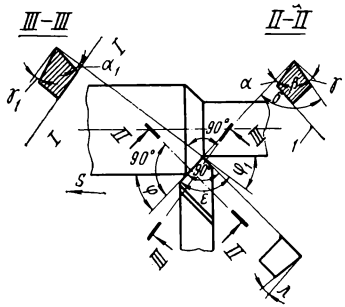


Рис. 28. Геометрические параметры режущей части резца

Взаимное расположение поверхностей и режущих кромок резца определяется его углами. Для измерения углов приняты исходные поверхности и сечения (рис. 28): основная плоскость *I—I*, которая у токарного резца совпадает с опорной плоскостью при его установке в процессе резания, главная секущая плоскость *II—II*, пересекающая главную режущую кромку перпендикулярно ее проекции на основную плоскость, вспомогательная секущая плоскость *III—III*, пересекающая вспомогательную режущую кромку перпендикулярно ее проекции на основную плоскость.

Резец работает по принципу клина и отличается он от обычного клина тем, что поверхности его режущей части расположены несимметрично к направлению силы резания и оказывают различное воздействие на обрабатываемый материал; так, одна из поверхностей снимает (скалывает) слой металла — стружку и отводит ее от места резания, другая поверхность не оказывает непосредственного воздействия на срезаемый слой. Поверхности режущей части резца образуют углы, измеряемые в главной секущей плоскости. Эти углы являются главными и имеют следующие названия и обозначения:

задний угол α — угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания;

передний угол γ — угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку;

угол заострения β — угол между передней и главной задней поверхностями резца;

угол резания δ — угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

На резце также имеются углы в сечении вспомогательной плоскости: *вспомогательный передний* угол γ_1 и *задний* α_1. Кроме углов в сечениях, имеются еще углы резца в плане. *Главным углом в плане* φ называется угол между проекцией главной режущей кромки на ос-

новную плоскость и направлением подачи s. *Вспомогательным углом в плане* φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, противоположным подаче.

Угол наклона главной режущей кромки λ — угол между главной режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости.

Углом при вершине в плане ε называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

§ 9. ВИДЫ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Зуборезными инструментами нарезаются наружные и внутренние цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями эвольвентного и неэвольвентного профиля; конические зубчатые колеса с прямыми и криволинейными зубьями; червячные колеса и червяки; храповые колеса; многошпоночные (шлицевые) валики и другие подобные детали машин с фигурными профилями зубьев.

Конструкция и принцип работы зуборезного инструмента зависят от методов зубонарезания, основными из которых являются: фасонное фрезерование, обкатка и смешанный метод.

При фасонном фрезеровании, которое также называют методом копирования, применяются дисковые (рис. 29, *а*) и пальцевые (рис. 29, *б*) фрезы и долбяки с профильными зубьями. Профили зубьев этих инструментов представляют собой копию впадины между зубьями обрабатываемого колеса. При обкатке в качестве зуборезного инструмента применяют гребенки прямозубые и косозубые, червячные фрезы, долбяки, зубострогальные резцы и резцовые головки.

При смешанном методе применяют фрезы червячные шлицевые с удлиненным зубом.

Наиболее распространенными видами зуборезного инструмента являются фрезы дисковые и червячные, а также долбяки.

По конструкции зубьев дисковые модульные фрезы подразделяются на острозаточенные и затылованные. Зубья острозаточенной фрезы (рис. 29, *в*) образуются плоскими поверхностями: передней AB и задней BC, по которым они и затачиваются. У затылованных фрез (рис. 29, *г*) передняя поверхность AB плоская, а задняя образуется

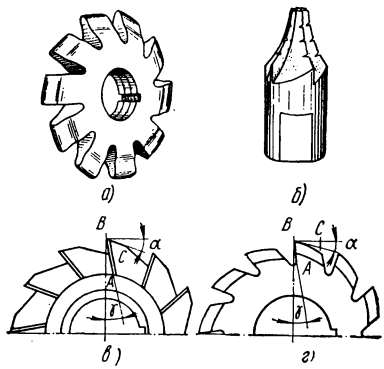


Рис. 29. Модульные фрезы:
а — дисковая, *б* — пальцевая, *в* — с острозаточенными зубьями, *г* — с затылованными зубьями

по кривой *BC*, «архимедовой спирали». Затачиваются затылованные фрезы только по передней поверхности зубьев причем профили зубьев при переточке не изменяют своей формы, в чем и состоит основное преимущество затылованных фрез. Зубья фрезы аналогично режущей части резца имеют передние и задние поверхности и такие же углы: передний γ, задний α и угол заострения β.

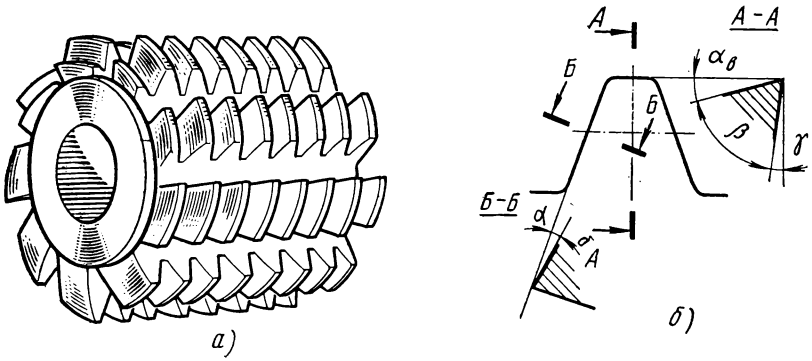


Рис. 30. Червячная модульная фреза:
а — внешний вид, *б* — углы режущих кромок зуба

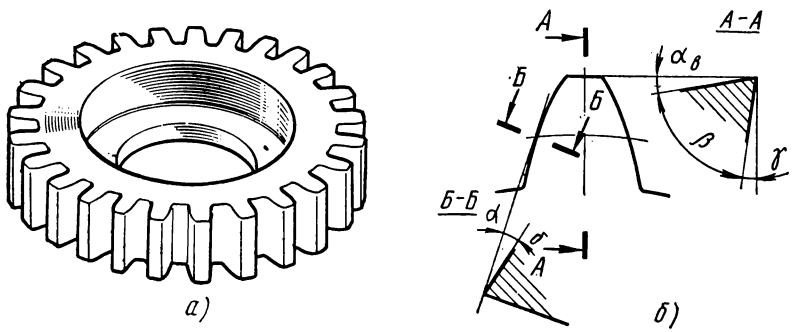


Рис 31. Зубодолбежный модульный долбяк:
а — внешний вид, *б* — углы режущих кромок зуба

Зубья червячных модульных фрез (рис. 30, *а*) имеют режущие кромки как у вершины, так и боковые (рис. 30, *б*). Величина задних углов $\alpha_б$ боковых кромок зависит от заднего угла $\alpha_в$ при вершине, который приблизительно равен 10°, при этом боковые углы составляют 2—3°. Передний угол γ у вершины обыкновенно равен нулю. Для чернового нарезания зубьев колеса этот угол иногда принимают 5—7°.

Зубья долбяков (рис. 31, *а*) имеют боковые задние углы $\alpha_б$, величина которых также зависит от заднего угла $\alpha_в$ у вершины (рис. 31, *б*).

Задний угол при вершине принимается равным 6—9°, боковые углы при этом составляют 2—3°. Угол γ по передней поверхности зубьев долбяка небольшой, около 5°, так как увеличение этого угла вызывает искажение профиля зубьев долбяка.

Затачиваются червячные фрезы и долбяки только по передней режущей поверхности.

Описание других видов зуборезного инструмента приводится в соответствующих главах (IV, V, VI, VII и VIII).

§ 10. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основные свойства материалов. Работоспособность инструмента определяется свойствами материала, из которого он изготовлен. К этим свойствам относятся: твердость, вязкость, прочность, износостойкость и теплостойкость. Материал инструмента должен быть достаточно твердым, чтобы инструмент мог врезаться в обрабатываемый металл, а прочность и вязкость необходимы, чтобы инструмент не ломался и не выкрашивался. Большое значение имеет теплостойкость, т. е. сохранение твердости материала при высокой температуре в зоне резания.

Виды инструментальных материалов. Инструменты изготовляют из сталей с разными свойствами, твердых сплавов, керамических материалов и алмазов.

Инструментальные стали подразделяются на три группы: углеродистые, легированные и быстрорежущие.

Углеродистые инструментальные стали характеризуются содержанием углерода. Чем выше содержание углерода в стали, тем большую твердость она получает при закалке, но с увеличением углерода уменьшается вязкость. Для изготовления инструмента применяют углеродистые стали (У10А, У12А и У11) с содержанием углерода от 0,6 до 1,4%. Основной недостаток углеродистых инструментальных сталей состоит в их низкой теплостойкости: уже при 200—250° С они теряют свою твердость. Поэтому из углеродистых сталей изготовляют инструменты, работающие при низкой температуре резания: метчики, плашки, развертки.

Инструментальные легированные стали содержат легирующие элементы, улучшающие их режущие свойства: хром, повышающий твердость; вольфрам, способствующий повышению теплостойкости; ванадий, содержащий наиболее стойкие соединения (карбиды); марганец, повышающий твердость и износостойкость.

Из инструментальных легированных сталей наибольшее применение для изготовления режущего инструмента находят хромокремнистые — 9ХС, хромистые — Х, хромомарганцевые — ХГ и хромовольфрамомарганцевые — ХВГ.

Инструментальные легированные стали после соответствующей термической обработки выдерживают температуру в процессе резания до 250—300° С, что дает возможность работать инструменту из легиро-

ванных сталей на режимах резания, в 1,2—1,4 раза больших по сравнению с инструментами из углеродистых сталей.

Быстрорежущие стали отличаются от обычных легированных повышенным содержанием хрома (3,8—4,4%) и вольфрама (8,5—19%). Эти элементы придают стали высокую износостойкость, которая намного выше, чем у легированной. В особенности у них высока теплостойкость: быстрорежущие стали сохраняют твердость при нагреве до 550—600° С. После термической обработки инструмент из быстрорежущей стали имеет твердость *HRC* 62—65 и может работать на режимах, в 2—3 раза превышающих режимы, допускаемые инструментами, изготовленными из инструментальной углеродистой стали.

Быстрорежущие стали применяются в основном трех марок: Р6М5, Р9К10, Р12. Из них изготовляют резцы, сверла, фрезы и зуборезный инструмент. Кроме указанных двух марок в промышленности находят также применение быстрорежущие стали на кобальтовой основе Р9К10 и ванадиевой Р9Ф5. Эти марки имеют повышенную стойкость: Р9Ф5 на 50%, а Р9К10 в два раза по сравнению с Р18 и применяются при повышенных скоростях резания, а также при обработке жароустойчивых сталей.

Твердые сплавы (металлокерамические сплавы) по физическим свойствам и по способу получения отличаются от сталей. Их выпускают в виде пластинок определенных форм, получаемых путем прессовки и спекания при высоких температурах порошков, состоящих из химического соединения вольфрама с углеродом (карбиды вольфрама); применяются также сплавы с добавлением химического соединения титана с углеродом. В состав твердых сплавов вводится кобальт для прочной связи зерен сплава.

В зависимости от состава твердые сплавы делятся на две группы: вольфрамовые ВК и титановольфрамовые ТК.

В обозначении марок сплавов первой группы после буквы К ставят цифры, обозначающие процентное содержание кобальта. В обозначении марок второй группы после первой буквы Т цифры указывают процентное содержание соединений титана (карбидов титана), а цифры после второй буквы К обозначают процентное содержание кобальта.

Сплавы первой группы (ВК) отличаются большим коэффициентом трения и большей вязкостью, а потому применяются для обработки хрупких металлов. Чем больше содержится кобальта, тем сплав вязче, мягче и менее стоек.

Сплавы второй группы (ТК) отличаются лучшим сопротивлением стиранию, более высокой теплостойкостью, но повышенной хрупкостью. Чем больше содержится титана, тем сплав более стойкий, но и более хрупкий. Сплавы этой группы применяются при обработке сталей.

Твердые сплавы имеют значительно большую твердость, чем быстрорежущие стали. Особенно ценным свойством их является повышенная теплостойкость: они сохраняют свою твердость при нагреве в процессе резания до 900—1000° С. Основной недостаток твердых славов — это их малая прочность и значительная хрупкость.

Керамические материалы или, как их называют, минералокерамические сплавы, применяемые для изготовления инструмента, состоят из дешевого минерального материала глинозема (Al_3O_3) и выпускаются в виде пластинок. Изготовляют их прессованием и подвергают специальной термообработке. В настоящее время применяют керамические пластинки марки ЦМ-332. Этот материал обладает высокой твердостью (HRA=89—95) и высокой теплостойкостью — около 1200° С, но наряду с этим он имеет низкую прочность на изгиб (до 45 *кГ/мм*²) и высокую хрупкость, что ограничивает его применение.

Алмазы. Для чистовой обработки иногда применяют инструмент, оснащенный алмазами. Из всех инструментальных материалов алмазы отличаются наибольшей твердостью и износостойкостью, но и большой хрупкостью. В настоящее время, в связи с получением искусственных алмазов, их все больше применяют как для обработки металлов резанием, так и для заточки режущих инструментов.

§ 11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Обработка металлов осуществляется в результате определенных движений режущего инструмента по обрабатываемой заготовке. Для каждого вида обработки эти движения имеют различный характер и выполняются с различными режимами резания.

Элементы режимов резания. Элементами резания являются: глубина резания, подача и скорость резания (рис. 32). Глубиной резания t называется толщина снимаемого слоя металла в миллиметрах за один проход. При зубофрезеровании за один проход глубина резания равна высоте впадины зуба. Подачей s называется величина перемещения инструмента относительно обрабатываемой детали в миллиметрах (или детали относительно инструмента). Подача для разных случаев работы выражается по-разному: за одну минуту, за один оборот заготовки, за один оборот инструмента, за один рабочий ход инструмента, на один зуб инструмента. Подача может быть продольной — вдоль оси обрабатываемой заготовки, поперечной — поперек этой оси, или наклонной — под углом к оси. Подача может быть горизонтальной, вертикальной и круговой.

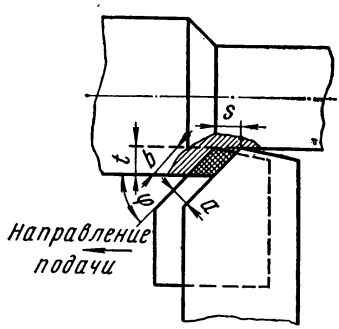


Рис. 32. Элементы среза и режима резания:

a — толщина среза, b — ширина среза, s — величина подачи, t — глубина резания

При нарезании зубчатых колес червячной фрезой подача осуществляется перемещением фрезы вдоль оси колеса; при нарезании долбя-

ком круговая подача зависит от скорости вращения колеса, согласованной с вращением долбяка.

Скоростью резания v называется величина перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности в единицу времени. Скорость резания измеряется в метрах в минуту.

На величину скорости резания влияют: механические свойства обрабатываемого металла, материал режущего инструмента, подача и глубина резания, углы режущей части инструмента, виды обработки и применяемые смазочно-охлаждающие жидкости.

Механические свойства обрабатываемого металла оказывают значительное влияние на скорость резания. Чем прочнее сталь, тем допускаемая скорость резания меньше. При обработке вязких сталей возможна более высокая скорость резания. Чугун, вследствие сосредоточения давления стружки на небольшом участке вблизи режущей кромки, обрабатывается с меньшей скоростью, чем сталь.

Материал режущей части инструмента сильно влияет на величину допускаемой скорости: чем больше твердость и теплостойкость этого материала, тем больше скорость резания.

Подача и глубина резания также влияют на скорость резания чем больше подача и глубина резания, тем меньше допускаемая скорость при одной и той же продолжительности работы инструмента. Увеличение подачи сказывается на уменьшении скорости резания в большей степени, чем увеличение глубины резания.

Из углов режущей части инструмента больше всего на скорость резания влияет передний угол γ. С увеличением этого угла до некоторых пределов можно увеличивать допускаемую скорость.

Смазывающе-охлаждающие жидкости облегчают стружкообразование и снижают температуру в зоне резания, поэтому с применением эффективного охлаждения допустимая скорость резания увеличивается.

В каждый момент резания снимаемый с заготовки слой металла определяется величиной среза. *Толщиной среза a* называется расстояние между двумя последовательными положениями режущей кромки инструмента относительно поверхности резания, измеренное перпендикулярно к этой поверхности. *Шириной среза b* называется длина соприкосновения режущей кромки, срезающей слой металла, с поверхностью резания. Площадь среза f равна произведению толщины среза на ширину $f=ab$.

Как при точении, так и при других видах обработки, режущая кромка инструмента может быть расположена параллельно, перпендикулярно или под углом φ к обрабатываемой поверхности. Так, на рис. 32 толщина среза $a=s \sin \varphi$; ширина среза $b=\frac{t}{\sin \varphi}$, тогда площадь среза можно выразить произведением величины подачи на глубину резания $f=st$ *мм*.

Влияние углов на процесс резания. Задний угол α уменьшает площадь соприкосновения задней поверхности резца с поверхностью обрабатываемой заготовки, вследствие чего уменьшается трение меж-

ду этими поверхностями. Пер едний угол γ уменьшает деформацию срезаемого слоя металла и снижает сопротивление резанию, в особенности при обработке вязких металлов. Угол наклона режущей кромки λ может быть положительным или отрицательным. Если главная режущая кромка от вершины резца направлена относительно основной плоскости под углом вверх, то угол λ — положительный, если вниз, то — отрицательный. Угол наклона режущей кромки λ влияет на сход стружки: при положительном угле λ стружка отклоняется в сторону обработанной поверхности, при отрицательном — отходит от нее. При положительном угле λ вершина получается незаостренной и более прочной (рис. 27).

§ 12. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Резание металлов при механической обработке является сложным процессом, сопровождающимся рядом физических явлений, среди которых большое значение имеет образование стружки и выделение теплоты. При обработке вязких металлов происходит изменение формы срезаемого слоя, которое называется *усадкой*. Усадка получается вследствие пластической деформации металла, т. е. смещения между собой мельчайших частиц его.

Хрупкие металлы, например чугун, вследствие незначительной деформации обрабатываются с небольшой усадкой срезаемого слоя.

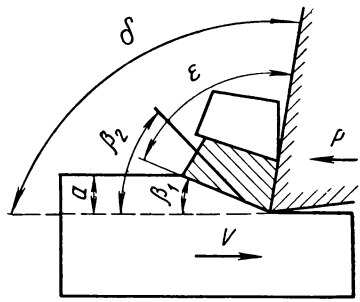


Рис. 33. Процесс пластической деформации и образование стружки при резании

Процесс образования стружки. При снятии стружки пластическая деформация распространяется только на некоторый объем срезаемого слоя металла, заключенный в пределах угла ε (рис. 33), который называется *углом действия*. Действующая сила P давления инструмента заставляет частицы металла до отделения их скользить относительно других частиц в определенном направлении. Плоскость, вдоль которой скользят частицы, называется *плоскостью скольжения* или *плоскостью деформации*, а угол β_2 между этой плоскостью и направлением скорости резания называется *углом скольжения* или *углом деформации* (на рис. 33 направление плоскостей скольжения показано близко расположенными одна к другой линиями). По мере продвижения режущей части инструмента напряжение в деформируемом слое увеличивается, и в тот момент, когда напряжение достигнет величины, превышающей прочность обрабатываемого материала, происходит сдвиг элемента стружки. Плоскость, в которой происходит сдвиг элементов, называется *плоскостью сдвига*, а угол β_1 наклона этой плоскости к направлению скорости резания называется *углом сдвига*.

При дальнейшем продвижении инструмента будет сдвигаться следующий элемент и т. д.; срезаемый слой металла превращается в стружку. Угол δ называется углом резания (рис. 28).

Виды стружки. При обработке пластичных металлов образуется два вида стружки: *сливная и стружка скалывания* (рис. 34). Сливная стружка получается в виде сплошной ленты, с едва заметными зазубринами на вогнутой стороне (рис. 34, *а*). Стружка скалывания состоит из хорошо различимых, прочно соединенных между собой элементов (рис. 34, *б*). Виды стружки больше всего зависят от пластических свойств обрабатываемого металла.

Сливная стружка образуется при обработке вязких металлов (малоуглеродистой стали, меди, свинца и др.), при обработке менее вязких металлов (высокоуглеродистой стали и др.) получается стружка скалывания. На образование стружки влияют и другие факторы: скорость резания v, передний угол γ и толщина среза a.

При обработке хрупких материалов (чугуна, бронзы, эбонита) получается стружка *надлома*, состоящая из отдельных кусочков, не связанных друг с другом и образовавшихся в процессе отрыва их от обрабатываемой поверхности (рис. 34, *в*).

Усадка стружки. Пластическая деформация срезаемого слоя заключается в усадке стружки. При усадке стружки площадь сечения ее становится больше площади срезаемого слоя, а длина стружки короче его. Величина усадки зависит от пластичности металла, величины переднего угла γ, величины среза и скорости резания. Чем пластичнее металл, тем больше деформация срезаемого слоя и тем больше усадка стружки. С увеличением переднего угла γ резца, толщины стружки и скорости резания усадка уменьшается.

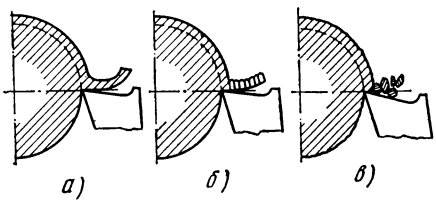


Рис. 34. Виды стружки:
а — сливная, *б* — скалывания, *в*—надлома

Нарост. В процессе резания пластичных металлов, вследствие большого давления стружки и высокой температуры, на передней поверхности режущей части инструмента, у самой режущей кромки, образуется слой металла, называемый наростом. При определенных условиях резания нарост начинает расти и, достигнув наибольшей величины, частично или полностью разрушается. После этого процесс образования нароста повторяется. Твердость нароста больше твердости обрабатываемого металла, а потому нарост участвует в отделении стружки и, в зависимости от характера обработки, оказывает положительное или отрицательное влияние на процесс резания. При наличии нароста ухудшается чистота обработанной поверхности. Но с появлением нароста уменьшается угол резания δ за счет увеличения переднего угла γ резца, вследствие чего облегчается процесс деформации срезаемого слоя. Кроме того, нарост предохраняет режущую кромку

от износа. При отделочных видах обработки, когда требуется обеспечение заданной чистоты поверхности, следует избегать появления нароста.

Появление нароста зависит главным образом от величины скорости резания, поэтому для предотвращения его появления надо изменять скорость резания и найти такую величину ее, при которой нарост совершенно исчезнет. Обыкновенно нарост появляется при резании со скоростью от 15 до 40 *м/мин*; при меньших и больших скоростях нарост не появляется.

Наклеп. В процессе резания деформируется не только срезаемый слой металла. Под воздействием режущей кромки инструмента деформации подвергается и наружный слой обработанной поверхности. Деформация в поверхностном слое называется *наклепом*. Поскольку наклеп является результатом пластической деформации, то возникновение его зависит от тех же причин, что и усадка стружки: от пластичности металла, величины переднего угла резца, величины среза и скорости резания. Большое влияние на наклеп оказывает износ режущей кромки инструмента: с износом увеличивается радиус закругления режущей кромки и увеличивается наклеп.

В результате наклепа зерна металла на обработанной поверхности детали измельчаются и становятся более прочными и твердыми, что улучшает поверхность. Но при этом могут образоваться поверхностные задиры и трещины, снижающие прочность детали.

Выделение теплоты при резании. Источниками образования теплоты при резании являются: трение мельчайших частиц срезаемого слоя металла при их перемещении друг относительно друга в процессе пластической деформации, трение стружки о переднюю поверхность режущей части инструмента и трение поверхности резания о заднюю поверхность инструмента. При обработке пластичных металлов наибольшее количество теплоты выделяется при деформации срезаемого слоя. Температура нагрева режущей части инструмента зависит от механических свойств обрабатываемого металла, элементов режима резания (скорости, подачи, глубины резания), углов режущей части инструмента, смазывающе-охлаждающей жидкости. Чем прочнее и тверже металл, тем больше затрачивается усилий на его резание и тем больше выделяется теплоты. При обработке пластичного металла срезаемый слой деформируется сильнее, вследствие чего также выделяется больше теплоты.

На температуру резания больше всего оказывает влияние скорость резания: чем выше скорость резания, тем выше температура. Увеличение подачи тоже увеличивает температуру резания, но в меньшей степени. Еще меньше сказывается на изменении температуры глубина резания.

Смазочно-охлаждающие жидкости облегчают процесс резания и понижают температуру резания.

§ 13. СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В процессе резания инструмент с силой вдавливается в срезаемый слой и деформирует его. При проектировании инструмента и приспособлений и назначении режимов резания необходимо знать величины всех сил, возникающих при резании.

Возникающие при резании силы давления стружки на переднюю поверхность резца и давления поверхности резания на заднюю поверхность резца вместе с силами трения составляют общую силу R сопротивления металлов резанию. Эту силу раскладывают обычно на три силы (рис. 35): силу P_z, действующую по направлению скорости резания v и называемую силой резания; силу P_x, направленную в сторону противоположную подаче и называемую силой подачи, и силу P_y, направленную перпендикулярно подаче и называемую радиальной. Из этих трех сил наибольшее значение имеет сила резания P_z.

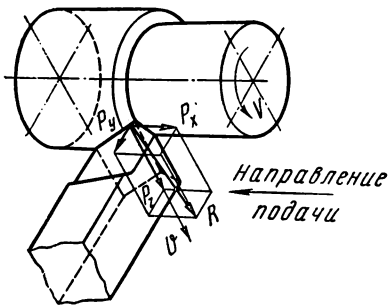


Рис. 35. Силы, действующие на резец:
P_x — сила подачи, P_y — радиальная сила, P_z — сила резания

Влияние условий и режима резания на силу резания. Сила резания P_z больше всего зависит от твердости, прочности на растяжение и пластичности обрабатываемого металла. Чем тверже и прочнее обрабатываемый металл, тем больше сила резания.

С увеличением пластичности металла сила резания также увеличивается. Хрупкие металлы при одной и той же твердости обрабатываются с меньшим сопротивлением резанию, чем вязкие.

С увеличением глубины резания и подачи сила резания увеличивается, причем увеличение глубины резания больше влияет, чем увеличение подачи, на увеличение силы резания. Влияние скорости резания на силу резания сказывается незначительно.

С увеличением переднего угла γ уменьшается усадка стружки и сила резания. Затупление инструмента сильно влияет на увеличение силы резания. Смазывающая жидкость значительно уменьшает силу резания.

Определение величины силы резания и мощности. Больше всего на изменение силы резания, как указано выше, влияют свойства обрабатываемого металла и составляющие элементы режима резания: глубина резания t и величина подачи s. Они и входят в формулу определения силы резания:

$$P_z = Cts^{0,75} K,$$

где C — коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого металла; K — коэффициент, учитывающий остальные условия, влия-

ющие на изменение силы резания: передний угол резца и радиус закругления вершины его, применение смазывающей жидкости и т. д. Значения этих коэффициентов берут из нормативов по режимам резания.

Мощность, необходимая для осуществления процесса резания, определяется по формуле

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} \text{ квт.}$$

Мощность электродвигателя станка должна быть несколько больше мощности, необходимой для осуществления процесса резания, так как часть мощности тратится на потери от трения в механизме станка. Мощность электродвигателя выражается формулой

$$N_э = \frac{N_p}{\eta},$$

где η — коэффициент полезного действия станка, равный от 0,7 до 0,8, в зависимости от конструкции станка.

§ 14. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА

От трения передней и задней поверхностей инструмента о стружку и о поверхность резания режущая часть его изнашивается, режущая кромка разрушается. В зависимости от свойств обрабатываемого металла, скорости резания и условий работы инструмента наблюдается три вида износа режущей части его: по передней поверхности, по задней поверхности и по обеим поверхностям одновременно.

При обработке пластичных металлов могут происходить все три вида износа. При больших сечениях среза может получаться износ инструмента по передней поверхности. При очень малых величинах среза давление больше всего сосредоточивается у скругления режущей кромки и поэтому происходит износ только по задней поверхности инструмента. При обработке хрупких металлов изнашивается только задняя поверхность инструмента.

Износ инструмента имеет три периода: начальный, нормальный и ускоренный.

Начальный износ происходит быстро, при этом стираются все шероховатости на поверхности режущей части инструмента

При нормальном износе образуется лунка на передней поверхности режущей части и стирание происходит медленно.

Ускоренный износ происходит очень быстро и приводит к разрушению режущей кромки. При таком износе создаются большие усилия резания и температура в зоне резания сильно повышается; режущая кромка под влиянием этой температуры размягчается и разрушается. При обработке определенного металла и неизменной форме режущей части инструмента на износ влияет скорость, глубина резания и подача; причем бо́льшее влияние оказывает скорость резания — незна-

чительное увеличение ее резко снижает стойкость инструмента. Изменяя режим резания и, главным образом, скорость резания, можно увеличить время работы инструмента от заточки до заточки.

Время непрерывной работы инструмента от заточки до заточки называется *стойкостью инструмента*. Стойкость выбирается такой, чтобы процесс обработки резанием осуществлялся бы наиболее производительно и экономично.

Стойкость инструмента, дающая наиболее экономичный результат при обработке резанием, называется *экономической стойкостью*. В зависимости от сложности наладки станка и инструмента стойкость инструмента принимается разной. При работе на токарных станках стойкость резцов принимается равной приблизительно 45—60 *мин*. При работе на автоматах и многорезцовых станках, где переустановка резцов требует бóльшей затраты времени, стойкость резцов больше. Для червячных фрез и долбяков стойкость устанавливается в зависимости от величины модуля от 5 до 10 *ч*.

Существуют два критерия износа: износ по задней поверхности инструмента и размерная стойкость. В первом случае износ определяется по величине фаски, получающейся на задней поверхности режущей части инструмента при его затуплении. Размерная стойкость особенно важна при отделочных операциях, когда требуются точность исполнения и чистота поверхности, которые могут ухудшиться еще до появления заметной фаски на инструменте.

§ 15. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ И ВИБРАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ

Шероховатость поверхности характеризуется мельчайшими микроскопическими неровностями (гребешками): чем мельче эти гребешки, тем выше чистота поверхности. В зависимости от высоты гребешков установлены классы чистоты поверхности по ГОСТ 2789—59. По этому стандарту шероховатость поверхности делится на 14 классов чистоты. Классы чистоты поверхности 6—14 дополнительно делятся на разряды. Шероховатость поверхности обозначается знаком ▽ с цифрой, указывающей класс чистоты. Так, шероховатость поверхности шестого класса чистоты обозначается ▽6. В тех случаях, когда требуется ограничить не только максимальную, но и минимальную величину шероховатости поверхности, в обозначении указывается два номера классов или разрядов: например, обозначение ▽ 9—10 указывает, что шероховатость поверхности должна быть не менее 0,16 и не более 0,32 *мк*.

Шероховатость поверхности грубее 1-го класса чистоты обозначают знаком V, над которым указана высота неровностей в *мк*, например, R_z500
V.

Шероховатость поверхности разных классов чистоты достигается соответствующей обработкой.

При обработке металлов резанием шероховатость (чистота) поверхности зависит от многих условий. С увеличением подачи чистота ухуд-

шается. Увеличение глубины резания незначительно снижает чистоту поверхности. С увеличением скорости резания чистота обработки улучшается. Увеличение углов режущей части инструмента как переднего γ, так и заднего α улучшает чистоту поверхности, увеличение радиуса закругления вершины режущей кромки инструмента также способствует повышению чистоты поверхности. При использовании смазывающе-охлаждающей жидкости чистота поверхности улучшается.

В процессе обработки резанием иногда возникают вибрации, снижающие качество обработанной поверхности. Вибрации возникают от колебаний, которые, в зависимости от причин их вызывающих, разделяются на два вида: вынужденные колебания и автоколебания.

Вынужденные колебания появляются в результате неуравновешенности вращающихся частей станка, неравномерности припуска и т. п. Для устранения вынужденных колебаний необходимо главным образом ликвидировать биение вращающихся частей при резании.

Автоколебания возникают при резании, в результате трения стружки о резец, колебаний упругости срезаемого слоя, непостоянства нароста. На величину автоколебаний влияют: вид обрабатываемого металла, геометрические элементы режущей части инструмента, режимы резания, жесткость станка, приспособления, инструмента и обрабатываемой заготовки. При обработке вязких металлов вибрации сильнее, чем при обработке хрупких.

Автоколебания могут быть устранены изменением режима резания, улучшением заточки инструмента, применением более жесткого крепления инструмента и заготовки.

ГЛАВА III

ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

§ 16. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Охрана труда. Производственная деятельность промышленного предприятия осуществляется не только в цеховых помещениях, но и на территории его, где работают подъемные механизмы, движется транспорт, ведутся строительные работы. Поэтому техника безопасности должна предусматривать мероприятия по предупреждению несчастных случаев и охране труда не только в цехах, а и при нахождении рабочих на территории завода. В местах движения транспорта должны быть предусмотрены ограждения, световая и звуковая сигнализация, сделаны соответствующие надписи, устроены специальные переходы. Транспортные пути разрешается переходить только в указанных местах, нельзя ходить вдоль железнодорожных путей и находиться около подъемных кранов и электрических линий.

Оборудование и организация рабочего места. Каждое рабочее место должно быть оснащено вспомогательным оборудованием: шкафами, стеллажами и тарой для заготовок и изделий. При расстановке вспомогательного оборудования и расположении рабочего инструмента необходимо придерживаться такого принципа: предметы, которыми рабочий пользуется чаще, должны находиться ближе к станку и располагаться под рукой у рабочего.

Шкаф для инструмента и приспособлений должен соответствовать количеству и форме предметов, для хранения которых он предназначен. На рабочем месте может быть установлен не один, а несколько шкафов. Зубообрабатывающие станки имеют много вспомогательных принадлежностей, например несколько наборов сменных зубчатых колес, для хранения которых необходимы отдельные шкафы. Эти шкафы оборудованы ячейками для зубчатых колес разного размера; около каждой ячейки должна быть надпись, указывающая число зубьев колеса, хранящегося в ней.

При наладке и проверке станка на точность используют специальные оправки и приборы, которые употребляются реже. Их надо хранить или отдельно, или на нижних полках общего шкафа. Для проверки нарезаемых зубьев применяют мерительные инструменты: индикаторы, зубомеры, шагомеры, предельные скобы. Эти инструменты требуют тщательного ухода и бережного хранения, а потому их необходимо укладывать в ящички или на специальные подставки; в шкафах их хранят отдельно от режущего и вспомогательного инструмента.

Заготовки и готовые детали укладывают на стеллажи, в металлические или деревянные ящики, на подставки, грузовые столики.

Рабочее место необходимо содержать в чистоте. Под ногами не должно быть масла, охлаждающей жидкости, стружки, обрезков и других отходов. На полу, где стоит рабочий во время работы, должен

быть деревянный решетчатый настил с расстоянием между планками 25—30 *мм*.

Техника безопасности на рабочем месте. Все вращающиеся части станков и механизмов должны быть закрыты кожухами. Кожухи на сменных зубчатых передачах (гитары деления, дифференциала, подач) должны быть откидными, с принудительным закрыванием. Станки обеспечивают надежными и безопасными устройствами, защищающими рабочего и окружающих людей от стружки и брызг охлаждающей жидкости. Трубопроводы для подачи охлаждающей жидкости к режущему инструменту должны быть устроены так, чтобы их можно было отводить и подводить, не приближая руку к режущему инструменту.

Чаще всего травмы могут быть получены при установке инструмента на станок, при проверке чистоты или наличии заусенцев на детали, при проверке режущих кромок инструмента и удалении стружки со станка, при установке приспособлений. Необходимо осторожно устанавливать заготовки и снимать нарезанные зубчатые колеса. Эти детали имеют много кромок, на них часто бывают заусенцы, в особенности на нарезанных зубьях, и ими можно порезаться. Тяжелые приспособления и заготовки необходимо устанавливать на станок и снимать со станка при помощи подъемных механизмов.

Наладка, пуск и остановка станка. При наладке станка часто требуется наблюдать за измерительными приборами во время вращения заготовки и режущего инструмента. Необходимо при этом проявлять особое внимание и осторожность, так как иногда приходится близко наклоняться к вращающемуся столу, к заготовке и инструменту. Также большая осторожность нужна при наблюдении за работой режущего инструмента во время забора стружки для получения требуемого размера зубьев или для корректировки наладочных установок станка.

Перед пуском станка необходимо его тщательно осмотреть, проверить, все ли выполнены крепления, сняты ли ручки, временно применявшиеся при наладке, убран ли на свои места инструмент. Потом следует проверить работу его механизмов, и только после этого включить электроток общим выключателем, а потом нажатием специальной кнопки запустить станок.

Измерять и осматривать обработанные поверхности детали можно только после остановки станка общим выключателем. Пользоваться остановочной кнопкой без общего выключения можно в случае кратковременных остановок.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

НАРЕЗАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ФРЕЗЕРОВАНИЕ РЕЗЬБ

ГЛАВА IV

НАРЕЗАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС НА ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

§ 17. ПОДГОТОВКА РАБОЧЕГО МЕСТА И СТАНКА К НАЛАДКЕ

Успешное и точное выполнение операции зубонарезания в большой степени зависит от тщательности подготовки к работе станка и всех необходимых принадлежностей, применяемых при работе. При наладке станка устанавливаемая технологическая оснастка и инструмент должны быть проверены на точность.

Вспомогательные инструменты, предназначенные для крепления режущего инструмента, перед установкой на станок должны быть тщательно вытерты и осмотрены. Режущий инструмент необходимо очистить от смазки и вытереть. Укладывать фрезы, долбяки, резцовые головки необходимо только на специальные деревянные подставки, чтобы не повредить режущие кромки или установочные поверхности.

Станок перед работой тщательно осматривают и смазывают во всех необходимых местах. Большинство зуборезных станков снабжено циркулирующей смазкой, поэтому необходимо проверить наполнение резервуаров, из которых подается масло, и исправность трубок, подводящих масло к местам смазки, уровень масла в корпусах червячных пар и коробках механизмов. Следует заполнить тавотом или залить маслом отверстия для смазки на станке. Направляющие салазок, если они не смазываются циркулирующей системой смазки, необходимо перед началом работы и в процессе работы смазывать при помощи ручных масленок.

Прежде чем приступить к наладке станка, надо подготовить необходимую техническую документацию и изучить намечаемый порядок обработки; ознакомиться с операционной картой наладки станка, определить число проходов зубонарезания, уточнить, какой оставить припуск под чистовой проход, какие требуется выдержать размеры по толщине и глубине зубьев. Затем следует определить базовые поверхности заготовки, по которым производится установка детали на станок, и допускаемые биения баз. Подобрать и осмотреть необходимые приспособления и инструменты: режущие, вспомогательные и мерительные. Проверить по операционной карте и карте наладки индексы инструментов и приспособлений и сверить их с индексами на маркировке. У режущих инструментов, кроме того, надо проверить, соответствуют ли номинальные размеры, указанные в маркировке, номинальным размерам, приведенным в карте технологического процесса или в карте наладки. Необходимо изучить по карте технологического процесса назначаемый режим резания: величину скорости, подачи, число оборотов инструмента или число его двойных ходов.

§ 18. ТОЧНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И МЕТОДЫ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ

Точность зубчатых колес. Для зубчатых цилиндрических колес по ГОСТ 1643—56 установлено 12 степеней точности: с 1-й по 12-ю. Чем меньше степень, тем точнее колесо. Степени точности 1-я, 2-я и 12-я пока не регламентированы.

Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности, плавности зацепления и контакта зубьев.

Нормы кинематической точности определяют величину наибольшей погрешности угла поворота зубчатых колес в зацеплении за один оборот. Эта погрешность возникает при нарезании зубчатых колес за счет погрешностей взаимного расположения заготовки и режущего инструмента, а также кинематической погрешности станка. Показателями погрешности кинематической точности являются: накопленная погрешность окружного шага и колебание длины общей нормали.

Нормы плавности зацепления колеса определяют величину составляющей полной погрешности угла поворота колеса, многократно повторяющуюся за один поворот колеса. Показателями плавности являются: циклическая погрешность (средняя величина размаха колебаний кинематической погрешности за цикл), предельные отклонения основного шага и погрешность профиля.

Нормы контакта зубьев определяют точность выполнения сопряженных зубьев в передаче в зависимости от относительных размеров пятна контакта в процентах по длине и высоте зуба.

Точность каждой степени характеризуется числовыми нормами по элементам сопряжения.

Устанавливается также величина наименьшего бокового зазора между зубьями и допуск на него.

Боковым зазором называется зазор между зубьями сопряженных колес в передаче, обеспечивающий свободный поворот одного колеса относительно другого. Для передач установлено четыре вида сопряжений с гарантированным зазором: С — с нулевым, Д — с пониженным, Х — с нормальным и Ш — с повышенным.

Нормы бокового зазора назначают в соответствии с эксплуатационными требованиями передачи и не зависят от норм точности.

Условное обозначение норм точности зубчатых колес состоит из четырех знаков: первые три означают степень точности в порядке их перечисления, а четвертый характеризует сочетание по боковому зазору. Например: 7-8-8-Х.

Методы нарезания зубьев. Нарезание зубчатых колес, как об этом говорилось ранее, можно выполнять тремя методами: копированием, обкаткой и смешанным методом.

При копировании зубья нарезают инструментом, форма кромок которого такая же, как и форма профиля нарезаемых впадин между зубьями колеса. В процессе нарезания профили зубьев колеса копируются с профиля кромок инструмента и совпадают с ним. Для каждого профиля нарезаемых зубьев требуется отдельный инструмент и все неточности профиля кромок инструмента переносятся на профиль нарезаемых зубьев.

При нарезании методом обкатки профиль режущих зубьев инструмента не совпадает с профилем нарезаемых зубьев колеса. Профиль зубьев колеса получается путем обкатки его профилями зубьев инструмента. Обкатка происходит в процессе зацепления зубьев инструмента с нарезаемыми зубьями. Этот метод позволяет получить более точный профиль зубьев, причем одним инструментом можно нарезать многие колеса данного модуля, независимо от числа их зубьев.

При смешанном методе одна часть профиля зубьев колеса обрабатывается копированием, а другая часть того же профиля — обкаткой. Этот метод может быть применен для обработки зубчатых венцов таких профилей, боковые стороны которых имеют эвольвентную кривую, а впадины и угловые переходы к профилю можно получить только фасонным копированием.

Выбор метода зубонарезания зависит от заданной степени точности элементов колеса. Чем выше окружная скорость зубчатых колес, тем точнее они должны быть изготовлены. Зубчатые колеса 3-й—8-й степеней точности нарезают обкаткой; 9-й и 10-й можно нарезать методом копирования.

§ 19. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ

На зубофрезерных станках зубонарезающим инструментом является червячная фреза (рис. 30, *а*), представляющая собой цилиндр, на котором нарезаны винтовые витки. Вдоль оси фрезы, перпендикулярно виткам, прорезаны винтовые канавки. От пересечения этих канавок с витками образуются зубья фрезы, профиль которых вдоль канавок

имеет форму трапеции, т. е. профиль зубьев рейки. Если фрезу подвести к заготовке и придать ей и заготовке согласованные вращения, то режущие кромки зубьев фрезы будут вырезать впадины между зубьями колеса, осуществляя одновременно обкатку зубьев по эвольвенте, как при зацеплении рейки с колесом (рис. 36, *а*, *б*). Нарезание зубьев колеса осуществляется в результате последовательного перемещения прямолинейного профиля зубьев фрезы, расположенных по витку, относительно профиля нарезаемых зубьев колеса, пока последние не выйдут из зацепления (рис. 36, *б*). Нужно отметить, что эвольвента у ножки профиля зубьев начинается не от окружности впадин, а несколько выше. Между этой окружностью и началом эвольвенты уголки вершин зубьев фрезы образуют переходную кривую *АА*, которая в зацеплении сопрягаемых зубьев колес не может участвовать. При нарезании зубьев вращение фрезы и заготовки должно быть согласовано между собой. Если фреза однозаходная, то за один оборот фрезы виток ее перемещается относительно колеса на один шаг и колесо должно повернуться тоже на один шаг, т. е. на один зуб. Если колесо имеет z зубьев и совершит $n_з$ оборотов, а фреза за то же время сделает $n_ф$ оборотов, то передаточное отношение i между числом оборотов колеса и фрезы будет:

$$i = \frac{n_з}{n_ф} = \frac{1}{z}.$$

Если фреза имеет K заходов, то передаточное отношение будет выражаться формулой

$$i = \frac{n_з}{n_ф} = \frac{K}{z}$$

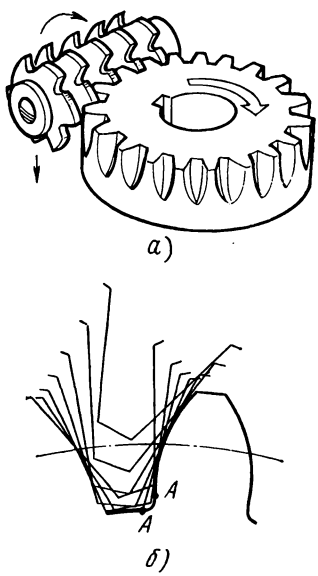


Рис. 36. Нарезание зубьев цилиндрического колеса червячной фрезой:

а — процесс нарезания, *б* — обкатка профиля зубьев колеса профилями зубьев фрезы

Чтобы обеспечить необходимое передаточное отношение, станок имеет соответствующий механизм, принципиальная схема которого показана на рис. 37. Шпиндель фрезы *1* связан со столом, на котором крепится заготовка, кинематической цепью обкатки, состоящей из червячного колеса *4*, червяка *3* и зубчатых передач, в число которых входят сменные зубчатые колеса *2*. Подбирая эти колеса с соответствующим числом зубьев, получают требуемое передаточное отношение.

При нарезании цилиндрических зубчатых колес на зубофрезерном станке осуществляются следующие рабочие движения: вращение фрезы — главное движение при резании; вращение стола с заготовкой, согласованное с вращением фрезы,— обкатка; перемещение суппорта с фрезой параллельно оси стола — движение подачи.

Суппорт при фрезеровании может перемещаться или сверху вниз или снизу вверх.

При перемещении суппорта сверху вниз осуществляется встречное фрезерование. В этом случае при вращении фрезы зубья ее движутся относительно заготовки в направлении от торца с нарезанной частью зубьев к торцу с ненарезанной частью, т. е. навстречу срезаемому слою металла (рис. 38, *а*).

При перемещении суппорта снизу вверх происходит попутное фрезерование. В этом случае зубья фрезы движутся относительно заготовки в направлении от торца с ненарезанной частью зубьев к торцу с нарезанной, т. е. попутно со срезаемым слоем металла (рис. 38, *б*).

Вследствие неодинакового направления силы при встречном и попутном фрезеровании она по-разному влияет на процесс резания.

Силу давления на зубья фрезы R, перпендикулярную их поверхности, можно разложить по двум направлениям: на горизонтальную силу $R_г$ и вертикальную $R_в$.

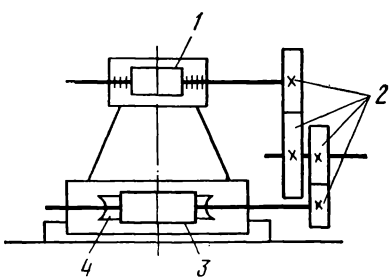


Рис. 37. Принципиальная схема механизма вращения заготовки и фрезы

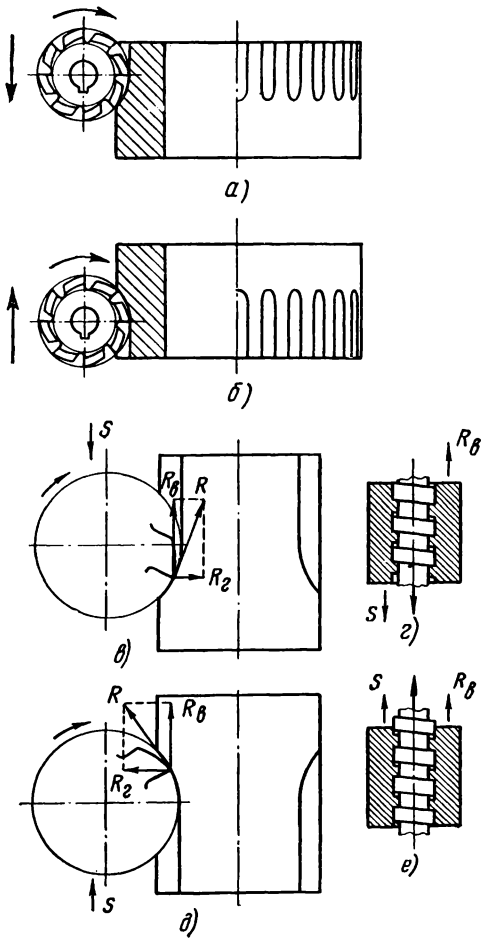


Рис. 38. Направление вращения фрезы, подачи и силы давления на фрезу:

а, в, г — при встречном фрезеровании; *б, д, е* — при попутном фрезеровании

При встречном фрезеровании горизонтальная сила действует на фрезу в направлении от ее оси (рис. 38, *в*) и отжимает суппорт от направляющих стойки, вследствие чего снижается устойчивость фрезы.

При попутном фрезеровании горизонтальная сила действует на фрезу по направлению к ее оси и прижимает суппорт к направляющим, увеличивая устойчивость фрезы, что способствует повышению точности обработки и позволяет работать на повышенных скоростях.

При встречном фрезеровании винт, перемещающий суппорт вниз, нажимает на верхние стороны витков гайки суппорта (рис. 38, *г*), а вертикальная сила направлена против направления подачи и прижимает витки гайки к виткам винта; этим устраняются зазоры между ними и фреза работает с равномерной подачей без вибрации.

При попутном фрезеровании винт, перемещающий суппорт вверх, нажимает на нижние стороны витков гайки (рис. 38, *е*), а направление вертикальной силы совпадает с направлением подачи. В момент врезания зубьев фрезы вертикальная сила увеличивается ($R_в > S$) и отжимает витки гайки от витков винта за счет зазора между ними; происходит колебание суппорта, создающее неравномерную подачу, вследствие чего возникают вибрации. Для устранения отжима гайки в механизме перемещения суппорта применяются устройства, прижимающие гайку к винту (компенсирующие гайки, противовесы, гидравлические системы).

Если станок снабжен компенсирующим устройством, то попутное фрезерование имеет преимущество перед встречным, так как обеспечивает более высокую чистоту нарезаемых зубьев и позволяет работать на повышенных скоростях.

§ 20. ЗУБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 5Д32

Устройство станка

Суппортная стойка *8* (рис. 39) установлена на направляющих станины *1* и может перемещаться по ним вдоль станка для установки на требуемое расстояние от центра стола или для выполнения радиальной подачи в случае нарезания червячных колес. Червячная фреза устанавливается на оправке *3*, укрепляемой в шпинделе фрезерного суппорта *7*, который смонтирован на направляющих суппортной стойки и может перемещаться по ним вверх и вниз как на малой скорости во время подачи, так и на быстром ходу при установочном перемещении. Стол *2* служит для закрепления на нем заготовки и сообщения ей вращательного движения.

На задней стойке *4* имеется кронштейн *5*, поддерживающий верхний конец оправки, если заготовка устанавливается на оправке. Поперечина *6* связывает суппортную и заднюю стойки и придает им необходимую устойчивость для уменьшения деформаций их под нагрузкой и устранения вибраций.

На станке 5Д32 можно нарезать зубья колес как при встречном так и при попутном фрезеровании. Для предотвращения вибраций при попутном фрезеровании станок снабжен гидросистемой, создающей при помощи масла давление на суппорт для устранения зазоров между винтом и гайкой, перемещающими суппорт.

Эта же гидравлическая система служит и для смазки станка. Масло в резервуары для смазки подается специальным насосом, работающим от отдельного электродвигателя. Червячная пара, вращающая стол, и приводная червячная пара суппорта имеют отдельные резервуары,

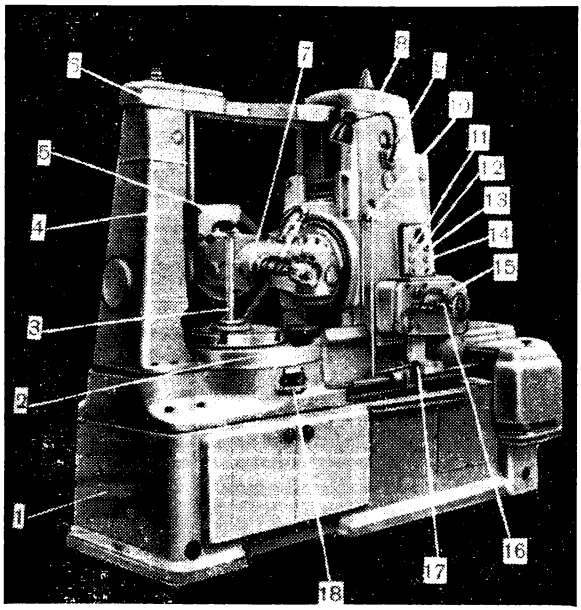


Рис. 39 Общий вид зубофрезерного станка модели 5Д32:

1 — станина, *2* — стол, *3* — оправка, *4* — задняя стойка, *5* — кронштейн, *6* — поперечина, *7* — фрезерный суппорт, *8* — суппортная стойка, *9* — глазок для наблюдения за уровнем масла в гидросистеме, *10* — упор автоматического выключения подачи фрезерного суппорта, *11* — кнопка пуска главного электродвигателя, *12* — кнопка останова главного электродвигателя, *13* — кнопка включения быстрого хода фрезерного суппорта вверх, *14* — кнопка включения быстрого хода фрезерного суппорта вниз, *15* — рукоятка включения подающего червяка, *16* — квадрат для ручного перемещения суппортной стойки, *17* — рукоятка включения и выключения рабочей подачи, *18* — глазок для наблюдения за уровнем масла в червячной паре

которые периодически заливаются маслом. Для контроля подачи масла в гидросистему служит глазок *9*, а для контроля уровня масла в резервуаре червячной пары стола глазок *18*.

Охлаждающая жидкость из резервуара, расположенного в нижней части станины, подается к инструменту центробежным насосом, приводимым в действие отдельным электродвигателем. Электродвигатель подключен к электросистеме станка и может автоматически включаться при включении главного электродвигателя. Выключение насоса при работающем главном электродвигателе (при наладке станка или при

обработке чугуна) производится отдельным выключателем. Подачу жидкости регулируют краном, установленным на трубопроводе около суппорта.

Работа на станке

Станок работает полуавтоматически. После установки в приспособление заготовки и надежного закрепления ее включают главный электродвигатель и насос охлаждения. Затем пусковой кнопкой включают вращение стола станка и фрезы, после чего для включения вертикальной подачи суппорта опускают вниз рукоятку *17*. После окончания обработки зубьев упор *10* выключает главный электродвигатель, станок останавливается и нарезаемое колесо снимают со станка. Затем поворачивают рукоятку *17* вверх и включают быстрое перемещение суппорта в исходное положение нажатием кнопок *13* или *14*.

Кинематическая схема станка

На кинематической схеме (рис. 40) показано условное и упрощенное изображение механизмов передачи движения с указанием валов, чисел зубьев колес, шагов ходовых винтов, муфт переключения и других характеристик элементов механизма, с помощью которых можно определить, какие движения и с какими скоростями совершают отдельные части станка и какова зависимость между ними.

При определении передачи движения между какими-либо частями механизма рассматривают кинематическую цепь. *Кинематической цепью* называется последовательный ряд звеньев механизма, связывающих движение одной его части с другой. Передаточное отношение кинематической цепи равно отношению чисел оборотов конечного звена к числу оборотов первого звена и выражается произведением отношений чисел зубьев первых колес к числу зубьев вторых всех передач цепи в направлении передачи движения. Например, передаточное отношение кинематической цепи III (стол — суппорт) по структурной схеме (рис. 41) будет:

$$i = \frac{n_{\text{вин. хх.}}}{n_{\text{стола}}} = \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot x_n \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{5}{30}.$$

Для выяснения передачи движения по кинематическим цепям механизма станка и удобства составления передаточных отношений этих цепей применяют *структурную схему механизма*. На этой схеме указаны стрелками направления движений по цепям и изображены звенья этих цепей: кружками с номерами обозначены валы согласно кинематической схеме, а черточками, соединяющими эти валы, зубчатые или червячные передачи. Над чертой и под ней указаны числа зубьев передачи.

Для определения передаточного отношения числа зубьев записывают в таком порядке: если передача движения рассматривается по

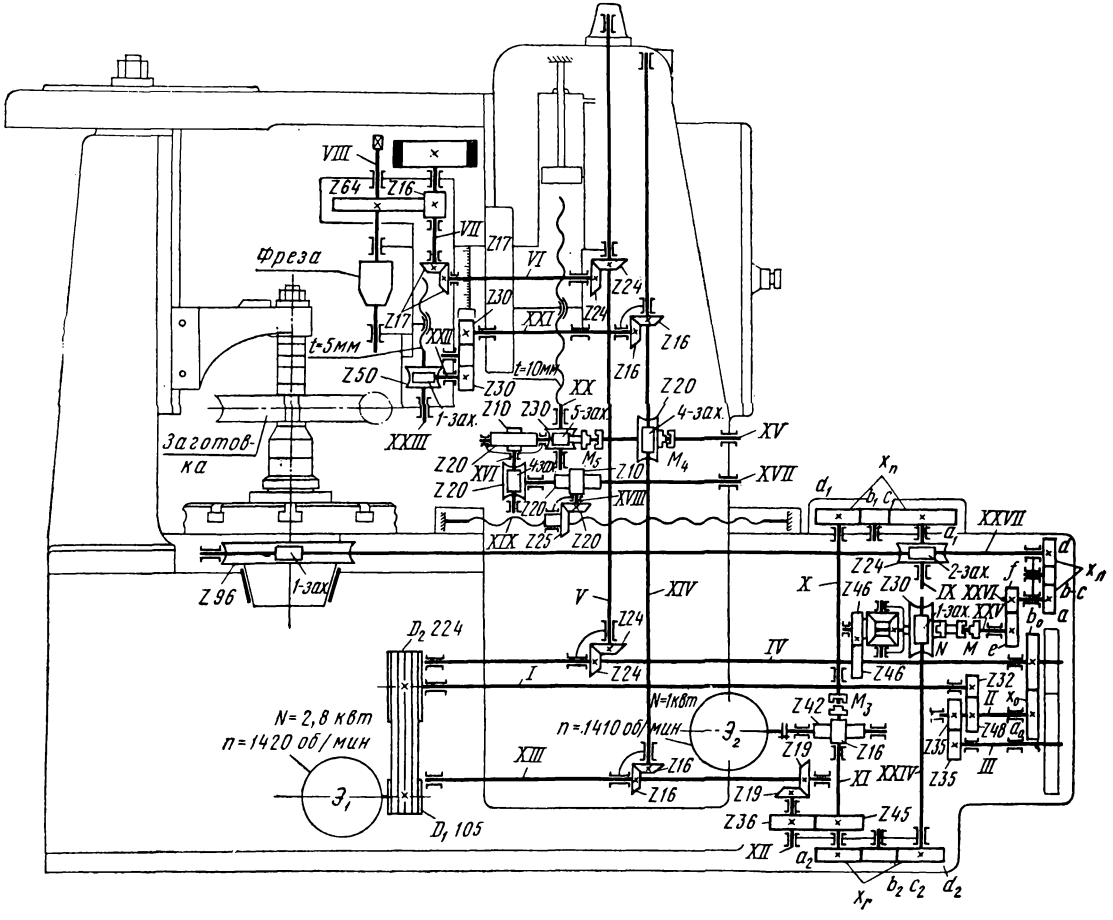


Рис. 40. Кинематическая схема зубофрезерного станка 5Д32

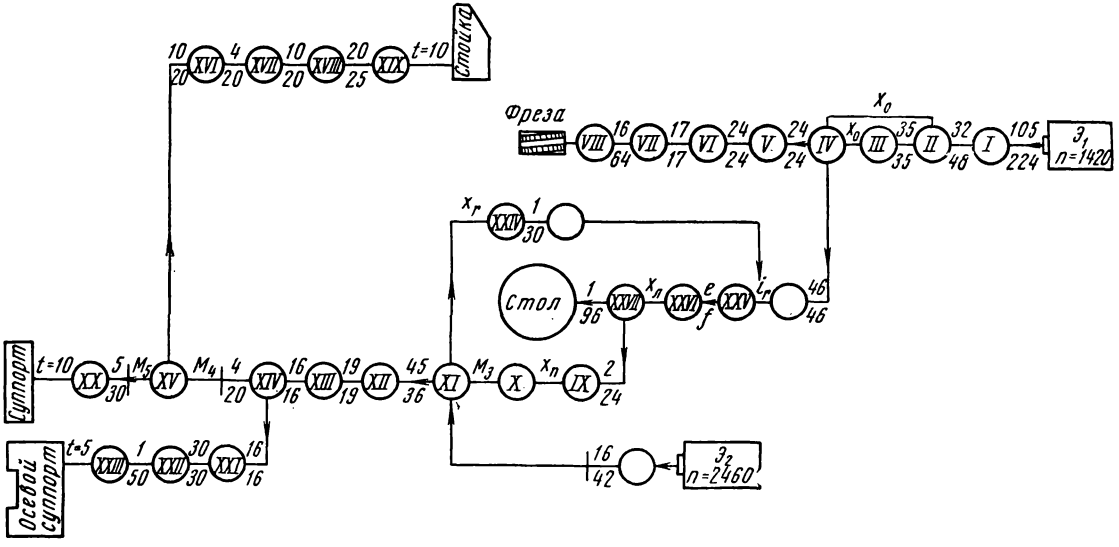


Рис. 41. Структурная схема зубофрезерного станка 5Д32

направлению стрелок схемы, то в числителе записывают верхнее число зубьев, а в знаменателе нижнее; если передача движения рассматривается в направлении против стрелок, то в числителе записывают нижнее число, а в знаменателе верхнее.

Для изучения работы механизма и для наладки станка необходимо рассмотреть следующие кинематические цепи, связывающие отдельные звенья механизма станка.

I. Электродвигатель $Э_1$— фреза.
II. Фреза — стол.
III. Стол — суппорт.
IV. Электродвигатель $Э_2$— суппорт.
V. Стол — стойка.
VI. Стол — осевой суппорт.
VII. Цепь дифференциала (вал XI — дифференциал).
VIII. Фреза — стол, через цепь дифференциала (при работе со включенным дифференциалом).

Цепь I. Вращение фрезы. В эту цепь входят сменные зубчатые колеса с передаточным отношением x_0. Меняя эти колеса, можно получать различные числа оборотов фрезы.

Цепь II. Вращение стола. От вала *IV* вращение столу передается через передачу *46* : *46*, дифференциал и гитару деления с передаточным отношением $x_л$. Стол и фреза связаны кинематической зависимостью по цепи II и вращение их согласовывают между собой, для чего рассчитывают передаточное отношение $x_л$ сменных зубчатых колес гитары деления.

Цепь III. Вертикальная подача суппорта. Движение подачи — от вала *XXVII*, вращение которого связано со столом, через червячную передачу *2* : *24*, вал *IX* и гитару подач с передаточным отношением $x_п$ движение по этой цепи передается суппорту. При этом муфта M_3 включается и соединяет валы *X* и *XI*. Кроме того, необходимо включить муфту M_4, соединяющую червячное колесо передачи *4* : *20* с валом *XV*, и муфту M_5, соединяющую червяк передачи *5* : *30* с валом *XV*. Через передачу *5* : *30* вращение передается винту *XX*, перемещающему суппорт. Заменяя зубчатые колеса гитары, можно получить разные величины подач.

По окончании резания при вертикальной подаче станок автоматически останавливается упором *10* (см. рис. 39), установленным в пазу салазок суппорта, который выключает главный электродвигатель. Кроме упора *10*, имеется еще два неподвижных конечных упора, которые служат для автоматического выключения станка в крайних положениях суппорта: верхнем и нижнем. Эти упоры выключают электродвигатель, если почему-либо не включен упор *10* и суппорт перемещается вдоль стойки до своего крайнего предела.

Цепь IV. Быстрое вертикальное перемещение суппорта. После нарезания зубьев по всей ширине обода колеса фрезу надо перевести в первоначальное рабочее положение для второго прохода или для обработки следующей заготовки. Для этого суппорт быстро перемещают по направляющим суппортной стойки.

Для быстрого его перемещения надо рукоятку *17* (см. рис. 39) поднять вверх, при этом разъединяется муфта M_3 (см. рис. 40) и включается пара винтовых колес *16* : *42*, передающих движение от электродвигателя $Э_2$ валу *XI*. Потом надо нажимать кнопки *13* (см. рис 39) «Вверх» или *14* «Вниз», в зависимости от требующегося перемещения.

Кнопку надо держать все время нажатой, пока суппорт переместится на требующуюся величину: если кнопку отпустить, электродвигатель выключается и движение суппорта приостанавливается.

Цепь V. Горизонтальное перемещение суппортной стойки. Движение для перемещения суппортной стойки, необходимое для радиальной подачи при нарезании червячных колес, осуществляется от вала *XXVII* (см. рис. 41) и передается через гитару подач валу *XV*. От вала *XV* через винтовые колеса *10* : *20* и червячную пару *4* : *20* вращение передается конической паре колес *20* : *25*. При вращении колеса *25* этой пары, закрепленной в стойке, оно своей резьбой во втулке навинчивается на винт *XIX* и перемещает стойку.

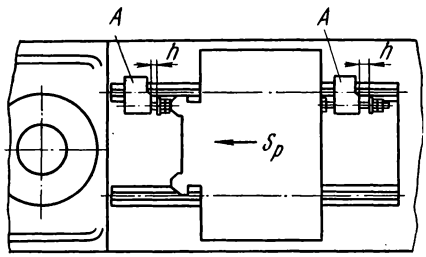


Рис. 42. Схема установки упора для выключения радиальной подачи суппортной стойки

Для автоматического выключения перемещения стойки после врезания фрезы на требуемую величину *h* на направляющих станины устанавливают жесткий упор *A* с одной или с другой стороны стойки (рис. 42), который в сочетании с падающим червяком выключает механизм подачи стойки. Когда суппортная стойка дойдет до жесткого упора *A*, гайка в зубчатом колесе *25* (см. рис. 40) не будет перемещаться, ее вращение остановится, не будут вращаться и валы *XVIII* и *XVII*, а вместе с ними прекратится вращение и червячного колеса *20* в червячной паре *4* : *20*. В то же время вал *XVI* с червяком этой пары будет продолжать вращаться от механизма станка: червяк будет ввинчиваться относительно неподвижного колеса *20* и смещаться вдоль своей оси, пока не соскочит с защелки и не отключится от него.

Включение червяка производится рукояткой *15* (см. рис. 39), для чего ее поворачивают по часовой стрелке (вверх).

Цепь VI. Перемещение осевого суппорта. Для нарезания червячных колес с осевой подачей фрезы устанавливают специальный суппорт. Движение его осуществляется от вала *XIV* (см. рис. 40, 41). На этот вал надевается коническое зубчатое колесо *16* (кроме пары *16* : *16*, связывающей вал *XIII* с валом *XIV*), сопрягающееся с таким же коническим колесом *16* на валу *XXI* осевого суппорта. Далее движение передается осевому суппорту, как указано на кинематической и структурной схемах, через передачу *30* : *30*, червячную пару *1* : *50* и винт *XXIII*, который перемещает суппорт.

Цепь VIII. Дифференциал. В кинематических

цепях, связывающих вращение стола и фрезы, движение передается через механизм, состоящий из четырех конических зубчатых колес, который называется *дифференциалом* (рис. 43). Этот механизм позволяет суммировать два движения, передаваемые столу по двум кинематическим цепям.

На валу *XXV* свободно насажено водило n_0 и два конических зубчатых колеса z_1 и z_3; колесо z_1 может свободно вращаться на этом валу,

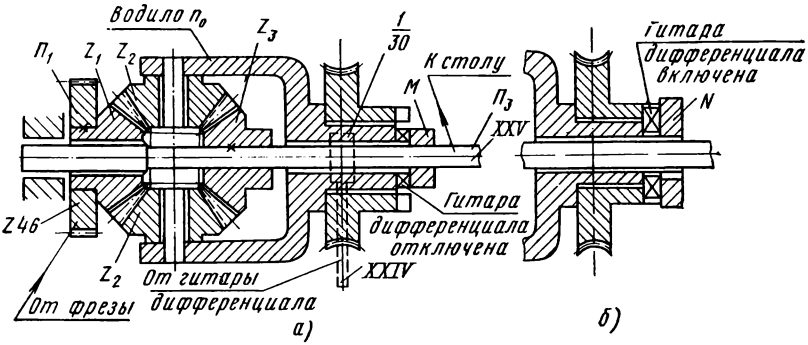


Рис. 43. Схема дифференциала

а колесо z_3 закреплено на нем неподвижно. На пальцах водила свободно насажены два конических колеса z_2, называемые сателлитами, которые находятся в зацеплении с колесами z_1 и z_3. Конические колеса попарно имеют одинаковое число зубьев $z_1=z_3$; $z_2=z_2$.

На втулке конического колеса z_1 неподвижно закреплено цилиндрическое колесо *46*, связанное механизмом с вращением фрезы.

На втулке водила свободно насажено червячное колесо *30*, находящееся в зацеплении с червяком *1*, который может получать вращение при помощи вала *XXIV* от гитары дифференциала.

На вал *XXV* попеременно устанавливают два сменных кулачка *M* и *N*. Если поставить кулачок *M*, закрепляемый на валу, то водило жестко соединяется с валом *XXV* (рис. 43, *а*); если вместо него поставить кулачок *N*, насаживаемый на вал свободно то водило соединится с червячным колесом *30* (рис 43, *б*)

Когда устанавливается кулачок *M*, то вал *XXV*, водило n_0, колесо z_3, сателлиты z_2 и колесо z_1 соединяются в жесткий узел, они не вращаются друг относительно друга и колесо *46* непосредственно вращает вал *XXV*. Передаточное отношение дифференциала в этом случае будет равно $i_p=1$.

Когда надо сообщить дополнительное вращение столу, то устанавливается кулачок *N* (рис. 43, *б*) и настраивается гитара дифференциала, сообщающая вращение червяку *1* и червячному колесу *30* при помощи вала *XXIV*. Вал *XXV*, передающий вращение столу, при этом будет получать два вращения.

Первое вращение от зубчатого колеса *46* и связанного с ним в одно звено колеса z_1 передается сателлитам z_2, которые, вращаясь вокруг пальцев водила, передают вращение колесу z_3 и связанному с ним валу *XXV*. Колесо *46* и вал *XXV* в этом случае будут вращаться в разные стороны с одинаковым числом оборотов; передаточное отношение их, являющееся передаточным отношением дифференциала в этом движении, равно $i_r = -1$.

Цепь VII. Второе, дополнительное, вращение вал *XXV* будет получать от вала *XI* через гитару дифференциала x_0, вал *XXIV* и червячную передачу *1* : *30* (см. рис. 40). Червячное колесо этой передачи вращает водило, которое при помощи пальцев вращает сателлиты z_2 (см. рис. 43) вокруг конического колеса z_1 и колесо z_3 вместе с валом *XXV*. Это дополнительное вращение добавляется к тому вращению, которое этот вал имеет от колеса *46*. Таким образом, дифференциал осуществляет суммирование двух вращений на одном валу *XXV*.

При обкатывании водилом сателлитов вокруг колеса z_1 за один оборот водила вокруг вала *XXV* зубчатое колесо z_3 повернется два раза: один раз вместе с водилом и один раз от вращения сателлитов. Значит, передаточное отношение вала *XXV* к водилу, т. е. передаточное отношение дифференциала при его дополнительном вращении, $i_r = 2$.

§ 21. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, РЕЖУЩИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Приспособления

Заготовки зубчатых колес, как правило, крепятся в приспособлении, установленном на столе станка. Приспособления служат для центрирования заготовки относительно оси стола, расположения ее на достаточной высоте при фрезеровании и закреплении ее на столе. В зависимости от формы и размеров нарезаемых колес приспособления для крепления заготовок подразделяют на приспособления для колес со ступицей и приспособления для шестерен-валов. Во всех приспособлениях для колес со ступицей различают две базовые цилиндрические поверхности и два базовых торца. Цилиндрические поверхности центрируют приспособление и заготовку относительно оси стола, а базовые торцы обеспечивают установку заготовки в горизонтальной плоскости, перпендикулярной оси стола.

На рис. 44, *а* изображено приспособление для крепления небольшого зубчатого колеса. Корпус приспособления устанавливают на стол, центрируют заплечиком по отверстию стола и крепят к нему болтами. В верхнюю часть приспособления вставляют оправку с посадочным диаметром *d*, на который насаживают заготовку. Торцовыми базовыми поверхностями являются *А* и *Б*.

Крепление шестерен-валов производится в центрах (рис. 44, *б*). Нижний центр *4* устанавливают в конусное отверстие стакана *6*, укрепленного в отверстии плиты *1* стола, а в поддерживающий крон-

штейн верхней стойки устанавливают второй центр *2*. Вращательное движение заготовки осуществляется через хомутик *3* поводком *5*.

Часто применяют приспособления для механизированного крепления заготовок.

На рис. 45 показано приспособление с пневматическим механизированным креплением и выталкивателем нарезаемых колес.

Корпус *2* приспособления, одновременно являющийся пневмоцилиндром, крепится к столу станка при помощи болтов *1*. В пневмоцилиндр поступает сжатый воздух для перемещения поршня *3*: вниз

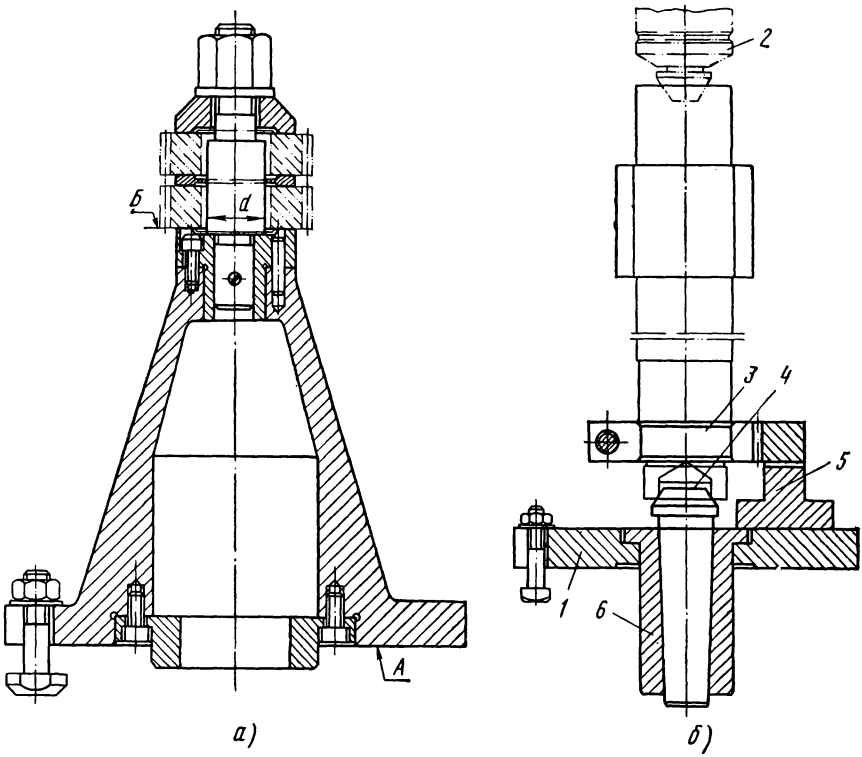


Рис. 44. Приспособления для крепления заготовок зубчатых колес:
а — колес со ступицей, *б* — шестерен-валов

через трубопровод *4*, вверх через трубопровод *5*. Вместе с поршнем перемещается вниз и вверх оправка *6* со втулкой *10* и выталкивателем *7*. При перемещении поршня вниз оправка тоже перемещается вниз и конической частью разжимает цангу *8*, которая центрирует и зажимает заготовку *9*.

По окончании обработки сжатый воздух, находящийся над поршнем, выпускается через трубопровод *4* и поступает через трубопровод *5* под поршень. Оправка и выталкиватель поднимаются вверх, цанга

разжимается и освобождает заготовку, а выталкиватель снимает деталь.

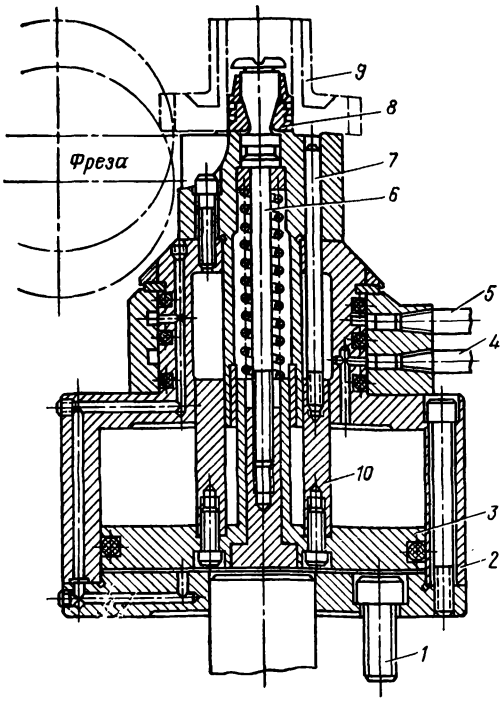


Рис. 45. Приспособление для крепления зубчатых колес с гидрозажимом

Режущий инструмент

Червячными фрезами нарезают цилиндрические колеса с наружными зубьями по методу обкатки. Наружный диаметр фрезы не зависит от размеров нарезаемого колеса и от числа зубьев его. Величина диаметра фрезы ограничивается расстоянием от шпинделя до стенки в выемке суппорта станка, где устанавливается фреза. Длина фрезы зависит от модуля и должна быть больше линии зацепления зубьев фрезы с зубьями колеса при нарезании. Направление витков и число заходов фрезы также не зависит от нарезаемого колеса, но число зубьев его не должно быть кратным числу заходов фрезы. При нарезании косозубых колес рекомендуется применять фрезу, имеющую с колесом одноименное направление зубьев (например, правое колесо и правая фреза). В этом случае проще установить суппорт на угол и лучше происходит процесс резания.

Общий вид червячной фрезы для нарезания цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем приведен на рис. 46, *а*. Профили зубьев фрезы в осевом сечении имеют форму равнобокой трапеции с углом наклона сторон, равным углу зацепления (рис. 46, *в*). Размеры зубьев фрезы: шаг t, модуль, угол зацепления α_0 и толщина зуба $S_ц$ по начальной прямой в нормальном сечении витков ее (вдоль продольных канавок) соответственно равны шагу, модулю, углу зацепления и ширине впадины по делительной окружности нарезаемых зубьев колес в нормальном сечении. Высота головки зубьев фрезы h', отсчитанная от начальной прямой, равна высоте ножки зубьев нарезаемого колеса, а высота ножки фрезы принимается больше высоты головки зуба колеса, чтобы в процессе нарезания между ними был зазор. Для нарезания прямозубых и косозубых колес одного модуля применяют одни и те же фрезы.

По назначению фрезы бывают чистовые и черновые. У черновых фрез зубья делают тоньше окончательной ширины впадины нарезаемых колес на величину припуска под окончательную обработку. Если черновое нарезание зубьев производится под обработку шевером, то форму профилей зубьев фрезы корректируют так, чтобы у основания зуба колеса и у самой его вершины припуск оставался меньше (рис. 46, *г*.)

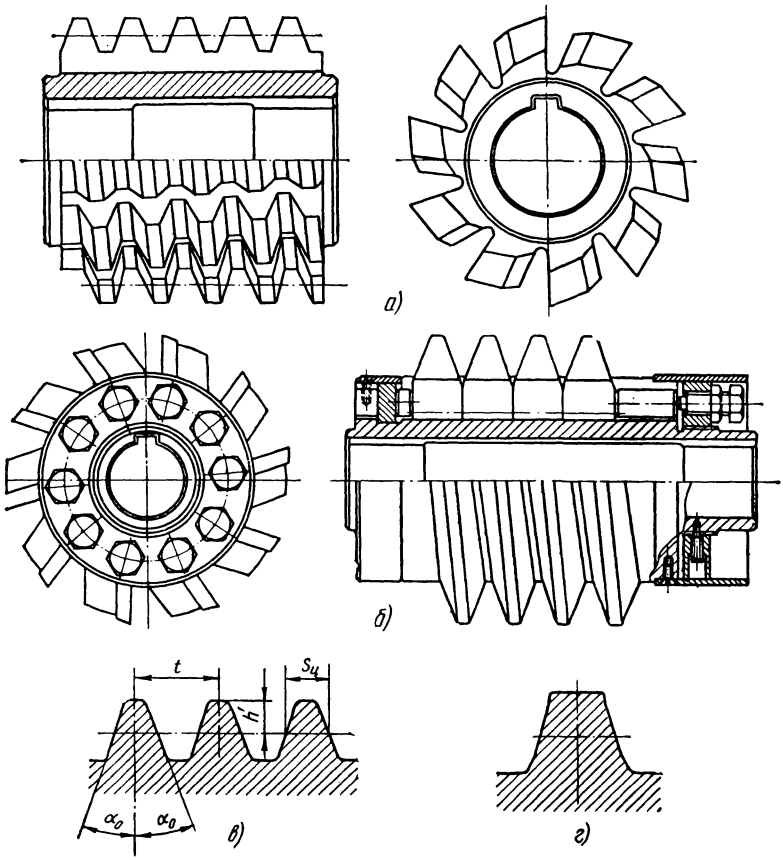


Рис. 46. Червячные модульные фрезы:
а — цельная, *б* — со вставными ножами, острозаточенная; профили зубьев фрезы: *в* — трапецеидальный, *г* — корректированный под шевингование

Для увеличения производительности при черновом зубофрезеровании применяют острозаточенные фрезы (рис. 46, *б*) со вставными ножами, которые затачивают отдельно по задним и боковым режущим поверхностям под углом 10° в специальном приспособлении. После заточки ножи устанавливают в корпус фрезы.

Благодаря большим задним углам фрезы работают с увеличенной подачей. Производительность их в 1,5—2 раза больше обыкновенных червячных фрез.

У червячных колес модуль, угол зацепления и ширину впадины зубьев принимают за номинальные в торцовом сечении, а потому в нормальном сечении зубьев величины этих параметров отличаются от величин таких же параметров цилиндрических колес одинакового модуля. Поэтому фрезой, предназначенной для нарезания цилиндрических колес, нельзя нарезать червячные колеса того же модуля. Кроме того, наружный диаметр фрезы для нарезания червячных колес и число заходов ее зависят от сопрягаемого с ней червяка: фреза должна иметь начальный диаметр, число заходов и направление витков такие же, как у червяка, а потому одной и той же фрезой не всегда можно нарезать разные червячные колеса одного и того же модуля.

На рис. 47 приведены общие виды фрез для нарезания зубьев зацепления Новикова: выпуклого (рис. 47, *а*) и вогнутого профиля (рис. 47, *б*) и фрезы для нарезания прямобочных шлицев на валиках (рис. 47, *в*).

Конструктивно фрезы выполняют насадными и с хвостовиком. У насадных фрез отверстия для оправок определяются в зависимости от размера наружного диаметра фрезы и принимаются стандартными: 16; 22; 27; 32; 40; 50 *мм*. По краям фрезы делают буртики шириной 4—5 *мм* с чисто прошлифованными поверхностями по диаметру и торцам. По ним проверяют радиальное и торцовое биение фрезы при изготовлении ее и при установке на станок.

Фрезы с хвостовиками изготовляют в том случае, когда нельзя сделать отверстия.

Маркировка фрез содержит необходимые данные для их выбора соответственно нарезаемым зубьям колеса и для установки на станок, а именно: индекс (номер чертежа), модуль, угол зацепления, коэффициент высоты головки зуба колеса, угол подъема витков, шаг винтовых канавок (шаг спирали), материал фрезы. У фрез для чернового нарезания или фрез, отличающихся размерами зубьев от стандартных, приводится еще толщина зуба и высота головки зубьев фрезы.

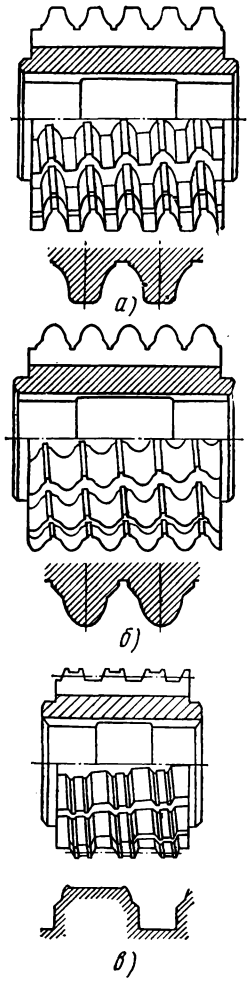


Рис. 47. Червячные фрезы для нарезания зубчатых колес зацепления Новикова и для нарезания прямобочных шлицев

Вспомогательный инструмент

Для установки и крепления насадных фрез применяют оправки, установочные промежуточные кольца и втулки (рис. 48). На оправку насаживают фрезу и установочные кольца, определяющие положение режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Оправки делают таких же стандартных диаметров, как и отверстия во фрезах. На одном конце оправки конус, соответствующий внутреннему конусу шпинделя суппорта станка. В резьбу конуса оправки ввинчивается стержень (струна), при затягивании которого оправка прижимается к конусному отверстию шпинделя и закрепляет его.

Поверхности конической и цилиндрической части оправки шлифуют, они должны быть соосны друг другу; допускаемое биение не больше 0,01 *мм*.

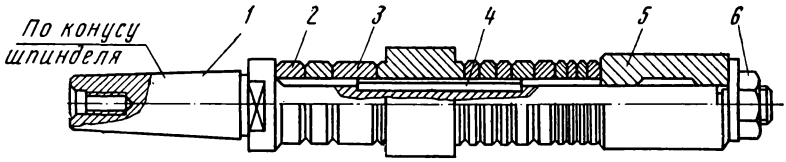


Рис. 48. Фрезерная оправка к зубофрезерному станку:
1 — оправка, *2* и *3* — промежуточные кольца, *4* — шпонка, *5* — втулка, *6* — гайка

Установочные промежуточные кольца выполняют с внутренними диаметрами, соответствующими номинальным размерам диаметров оправок, но с отклонениями в плюс для обеспечения зазора при посадке на оправку.

Торцы колец шлифуют, они должны быть параллельны между собой; допускаемая непараллельность не более 0,005 *мм*. У кромок торцов снимают фаски во избежание забоин и заусенцев.

§ 22. НАЛАДКА СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ПРЯМЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчеты при наладке

Расчет сменных зубчатых колес в кинематической цепи передачи вращения фрезе. Число оборотов фрезы в зависимости от принятой скорости резания v, *м/мин* и диаметра фрезы $d_ф$, *мм* определяется по формуле

$$n_ф = \frac{1000\,v}{\pi d_ф} \quad \text{или} \quad n_ф = 318\,\frac{v}{d_ф}\ \text{об/мин}.$$

Передаточное отношение между числами оборотов фрезы и электродвигателя по кинематической цепи *I* (см. рис. 41) будет составлять:

$$\frac{n_ф}{n_э} = \frac{105}{224} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{35}{35} \cdot x_0 \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{16}{64};$$

$$\frac{n_ф}{n_э} = \frac{15}{192} x_0; \quad n_э = 1420 \text{ об/мин}.$$

Учитывая коэффициент скольжения ременной передачи, равный 0,98, получим

$$n_ф = \frac{1420 \cdot 0{,}98 \cdot 15}{192} x_0.$$

Отсюда находим передаточное отношение сменных колес:

$$x_0 = \frac{n_ф}{108{,}7}$$

и сменные колеса:

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n_ф}{108{,}7}.$$

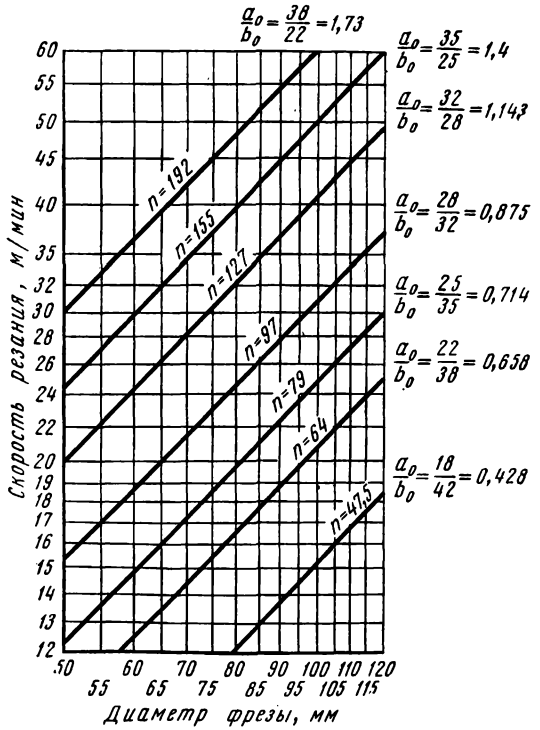


Рис. 49. График для определения числа оборотов фрезы и подбора сменных зубчатых колес в зависимости от диаметра фрезы и скорости резания

По этой формуле, зная число оборотов фрезы, рассчитываем передаточное отношение зубчатых колес и принимаем ближайшее согласно графику (рис. 49). При помощи этого графика можно без расчета определять число оборотов фрезы и сменные зубчатые колеса, исходя из скорости резания и диаметра фрезы.

Расчет сменных зубчатых колес гитары вертикальной подачи суппорта. Для получения заданной подачи $s_в$, *мм* за один оборот стола рассчитываем сменные колеса гитары подачи следующим образом. Отношение числа оборотов винта *XX* (см. рис. 41) к числу оборотов стола по кинематической цепи *III* будет составлять:

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot x_п \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{5}{30};$$

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{x_п}{3}; \quad n_в = n_с \frac{x_п}{3}.$$

Вертикальная подача принимается на один оборот стола: при $n_{с_1} = 1$ число оборотов винта *XX* будет:

$$n_{в_1} = \frac{x_п}{3}$$

Перемещение суппорта вдоль винта, т. е. подача $s_в$ равна шагу t винта, умноженному на число оборотов его, соответствующее одному обороту стола:

$$s_в = n_{в_1} t,$$

откуда

$$n_{в_1} = \frac{s_в}{t}.$$

Сравнивая значения $n_{в_1}$, получим

$$\frac{s_в}{t} = \frac{x_п}{3}.$$

Шаг винта $t = 10$, тогда

$$x_п = \frac{3}{10} s_в.$$

Сменные колеса рассчитывают по формуле

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{3}{10} s_в.$$

Величину подачи принимают с учетом заданной чистоты поверхности и степени точности нарезаемых колес. При черновом проходе принимают бóльшую подачу — 2—3 *мм* на один оборот стола; при чистовом — меньшую — 1—1,5 *мм*. Очень малые подачи применять не следует, так как при этом происходит скольжение зубьев фрезы по обрабатываемой заготовке и преждевременное их затупление.

Приняв величину подачи, определяют по вышеприведенной формуле передаточное отношение зубчатых колес гитары подач и по нему число зубьев колес. При подборе имеющихся сменных колес величина подачи немного изменится.

Расчет сменных зубчатых колес гитары в кинематической цепи деления. Делительная кинематическая цепь *II* станка, связывающая вращение фрезы и стола, должна обеспечить согласованное вращение их в соответствии с числом заходов фрезы K и количеством зубьев z нарезаемого колеса. Для осуществления такой зависимости надо рассчитать передаточное отношение $x_л$ сменных зубчатых колес гитары деления, входящих в эту цепь, и установить необходимые сменные колеса. Передача движения по этой цепи происходит через механизм дифференциала. При нарезании прямозубых колес на валу *XXV* дифференциала устанавливают кулачок *M* (см. рис. 43, *а*), связывающий водило дифференциала с этим валом; при этом передаточное отношение дифференциала $i_г=1$.

Отношение чисел оборотов стола и фрезы по кинематической цепи *II* (см. рис. 41) будет составлять:

$$\frac{n_с}{n_ф} = \frac{64}{16} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46}\, i_г\, \frac{e}{f}\, x_л\, \frac{1}{96}; \quad \frac{n_с}{n_ф} = \frac{ex_л}{f24}.$$

Это же отношение чисел оборотов по условию соотношения вращения фрезы и стола с заготовкой будет:

$$\frac{n_с}{n_ф} = \frac{K}{z}.$$

Сравнивая значения отношения чисел оборотов, получим

$$\frac{e}{f} \cdot \frac{x_л}{24} = \frac{K}{z}.$$

тогда формула для расчета сменных колес примет следующий вид:

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{f24\,K}{ez}.$$

Сменная передача $\frac{1}{e}$ имеет две пары колес, которые устанавливают в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса. Для колес с числом зубьев $z \leqslant 161$ устанавливают пару:

$$\frac{e}{f} = \frac{36}{36} = 1,$$

для колес с числом зубьев $z > 161$ пару:

$$\frac{e}{f} = \frac{24}{48} = \frac{1}{2}.$$

Подставляя эти значения отношений $\frac{e}{f}$, получим формулы расчета отношений сменных колес гитары деления и числа зубьев: для колес $z \leqslant 161$

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24K}{z},$$

для колес $z > 161$

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{48K}{z}.$$

При подборе зубчатых колес гитары деления не должно быть никаких округлений.

В каталогах станков приведены готовые таблицы подбора колес из имеющегося комплекта на станке для нарезаемых колес с разным числом зубьев.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления и гитары дифференциала при нарезании прямозубых колес с простым числом зубьев. Прямозубые колеса с простым числом зубьев, которое нельзя разложить на множители, можно нарезать без настройки гитары дифференциала, если число зубьев не превышает 100, так как из имеющегося набора на станке можно подобрать сменные колеса для настройки гитары деления только для колес с количеством зубьев в этих пределах.

Для нарезания колес с простым числом зубьев более 100 необходимо настроить гитару дифференциала. Расчет сменных колес гитары деления и гитары дифференциала в этом случае производят следующим образом.

Для нарезания колеса, имеющего z зубьев, сменные колеса гитары деления рассчитывают на число зубьев $z \pm a$, где a — небольшое произвольно выбранное число, выраженное правильной дробью. Это число принимают таким, чтобы по формуле расчета сменных колес гитары деления

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24K}{z \pm a}$$

получилось число, разлагаемое на множители, по которым можно было бы составить произведение чисел зубьев сменных колес, имеющихся в наборе.

Чтобы компенсировать влияние на механизм деления дополнительного числа зубьев a и при нарезании получить необходимое число зубьев колеса, следует настроить механизм дифференциала. Для этого кулачком N соединяют водило дифференциала с червячным колесом (см. рис. 43, *б*) и настраивают гитару дифференциала.

Зубчатые колеса гитары дифференциала для этого случая рассчитывают по формуле

$$\frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = -\frac{25a}{s_в \cdot K}.$$

Величину вертикальной подачи $s_в$, входящую в эту формулу, следует принимать точно по действительному отношению сменных колес гитары подач.

В зависимости от принятого знака перед числом α и направления подачи устанавливают в гитаре дифференциала паразитное колесо. Необходимость установки такого колеса для станка 5Д32 определяется следующим образом.

Если величина α отрицательная, т. е. гитара деления рассчитана на меньшее число зубьев, чем нарезается на колесе, то при встречном фрезеровании (подача сверху вниз) паразитное колесо не требуется; при попутном же фрезеровании (подача снизу вверх) паразитное колесо должно быть установлено. Если же величина α положительная, т. е. гитара рассчитана на бóльшее число зубьев, чем требуется, то при встречном фрезеровании паразитное колесо устанавливается, а при попутном нет.

Наладка станка

Наладка зубофрезерного станка для нарезания цилиндрических прямозубых колес заключается в выполнении необходимых установок и проверок.

Установка сменных зубчатых колес. Сменные колеса передачи вращения фрезе и гитар деления и подачи устанавливают в порядке буквенного их обозначения на валы согласно кинематической схеме.

В зависимости от направления витков фрезы и направления подачи суппорта устанавливают в передаче $e : f$ и в гитарах деления и подачи паразитные колеса (табл. 2).

Настройка дифференциала. При нарезании колес с простым числом зубьев больше 100 настраивают гитару дифференциала и включают дифференциал. На вал дифференциала насаживают кулачок N, соединяющий водило со втулкой червячного колеса. Сменные колеса устанавливают в порядке их буквенного обозначения на валы в направлении передачи движения от гитары подач к червяку дифференциала.

Так как от перестановки сомножителей величина произведения не изменяется, то колеса в гитарах можно менять местами отдельно в числителе и отдельно в знаменателе передаточного отношения, и в таком порядке устанавливать в гитару (нельзя только переносить из числителя в знаменатель).

Сменные колеса всех гитар надо соединять в зацеплении так, чтобы они свободно вращались, но без больших зазоров. При тугом соединении или при больших зазорах получится неправильная эвольвента нарезаемых зубьев колес. Зацепление проверяется вращением и качанием колеса от руки.

Установка и проверка приспособления для крепления заготовки. Приспособление после его закрепления надо проверить на биение базовых поверхностей, на которые устанавливается заготовка. На неподвижную часть станка (на станину или суппорт) устанавливают индикатор, ножку его подводят к проверяемой поверхности, и стол приводят во вращение.

Центрирующие части приспособления, обеспечивающие совпадение оси заготовки с осью стола (диаметр оправки, центрирующий диаметр диска, отверстие, в которое вставляется шейка заготовки и т. п.),

проверяют на радиальное биение. Величина биения не должна превышать 0,02 *мм*. Горизонтальные поверхности приспособления, на которые опирается заготовка базовыми торцами, проверяют на торцовое биение, которое не должно превышать 0,02 *мм*. При использовании центра стола или центра поддерживающего кронштейна необходимо их проверить на радиальное биение, которое не должно превышать 0,01 *мм*.

Установка и проверка заготовки. Заготовку надежно закрепляют в приспособлении и проверяют на радиальное и торцовое биение при помощи индикатора. Радиальное биение определяют по наружному диаметру заготовки. Торцовое биение проверяют по торцам обода или же по базовым буртикам. Допустимое биение зависит от степени точности колес, величины диаметра и ширины зубчатого венца.

Установка и проверка оправки и фрезы. Оправку проверяют на радиальное и торцовое биение после установки ее в шпиндель и затяжки винтом без поддерживающего подшипника. Радиальное биение определяют индикатором по цилиндру, на который насаживается фреза, а торцовое биение по торцу, на который опирается фреза. Допустимое радиальное и торцовое биение не более 0,02 *мм*.

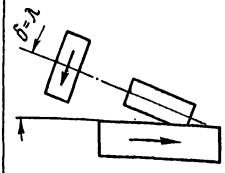
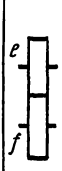
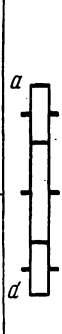
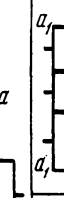
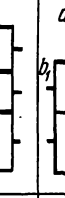
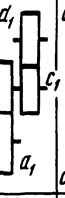
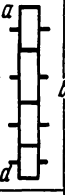
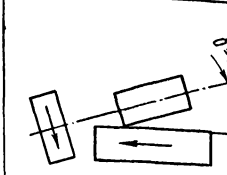
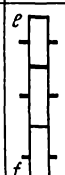
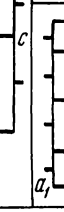
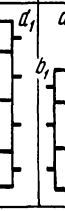
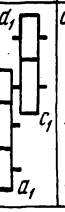
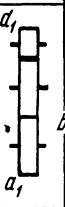
На оправку надевают фрезу, устанавливают промежуточные кольца и поддерживающий подшипник, и фрезу закрепляют, после чего проверяют радиальное биение фрезы по буртикам. Допустимое биение 0,03 *мм*. В осевом направлении фрезу устанавливают так, чтобы одна из впадин между режущими кромками зубьев ее приходилась против оси стола. Для этого фрезу подводят к заготовке и приводят во вращение, при этом два смежных зуба какой-либо продольной канавки ее должны одновременно касаться заготовки и намечать две одинаковых риски на ней. Предварительно фрезу устанавливают при помощи промежуточных колец, а окончательно регулируют перемещением шпинделя вдоль оси в небольших пределах.

Установка суппорта на угол. Ось фрезы для нарезания прямозубых колес устанавливают на угол, обеспечивающий вертикальное направление перемещения зубьев фрезы вдоль оси заготовки (см. табл. 2). Для этого суппорт со шпинделем и закрепленной в нем фрезой поворачивают относительно горизонтального положения на угол δ, равный углу λ подъема витков фрезы, т. е. $\delta = \lambda$. В зависимости от направления витков фрезы (правая или левая фреза) ведущий конец шпинделя поворачивают вверх или вниз. Угол поворота отсчитывают по шкале с нониусом на поворотном кругу салазок суппорта.

Установка упоров автоматического выключения станка. Перемещением стойки отводят фрезу от заготовки и суппорт с фрезой устанавливают ниже заготовки (или выше при попутном фрезеровании) так, чтобы ось фрезы была в нескольких миллиметрах от плоскости торца, у которого заканчивается фрезерование. Упор *10* (см. рис. 39) подводят к конечному выключателю и закрепляют. Затем суппорт переводят в начальное рабочее положение. Можно упор устанавливать после окончания нарезания первой детали, когда фреза переместится по всей ширине венца и окончит зубонарезание.

Таблица 2

Схема установки сменных зубчатых колес

Фреза	Установка фрезы на угол	Зубчатые колеса	Сменные колеса деления		Сменные колеса подачи			
					Встречное фрезерование		Попутное фрезерование	
			2	4	2	4	2	4
Правоходовая								
Левоходовая								

Установка фрезы на глубину врезания и по высоте. Для установки фрезы на глубину врезания зубьев суппорт станка быстрым перемещением устанавливают на уровне заготовки (ориентировочно посредине ширины венца). Отпускают гайки крепления суппортной стойки и выключают падающий червяк, если он был включен. Затем вращением рукоятки, надетой на квадрат *16* (см. рис. 39), подводят стойку с фрезой к заготовке до легкого соприкосновения; суппорт поднимают (или опускают, в зависимости от направления подачи фрезерования) за пределы заготовки, а суппортную стойку дополнительно перемещают к заготовке на глубину нарезаемых зубьев колеса. Отсчет перемещения стойки ведется по лимбу квадрата *16*. Один поворот лимба перемещает стойку на 4 *мм*, а поворот на одно деление лимба — на 0,05 *мм*. Стойку закрепляют гайками.

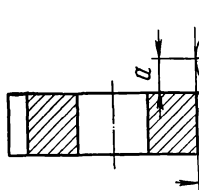


Рис. 50. Установка червячной фрезы по высоте относительно заготовки

Фрезерование начинают, когда фреза находится на расстоянии *a* от того торца заготовки, с которого начинают нарезание зубьев

(рис. 50). Величину a определяют по формуле

$$a = \sqrt{h(D-h)}.$$

Когда нарезан небольшой участок по ширине венца, замеряют толщину и глубину зуба.

Если толщина зуба больше необходимой, то суппортную стойку продвигают ближе к оси стола.

§ 23. НАЛАДКА СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С КОСЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчеты при наладке

Расчет сменных зубчатых колес гитар деления и подач. Расчет производят по тем же формулам, что и для прямозубых колес.

Расчет сменных зубчатых колес гитары дифференциала. При нарезании косозубых колес вращение стола складывается из основного по кинематической цепи *II*, связывающей вращение фрезы и стола, и дополнительного от вала *XI* (см. рис. 40) через гитару дифференциала и его механизм. Чтобы получить дополнительное вращение, необходимо установить сменные колеса гитары дифференциала и поставить кулачок *N* в механизм дифференциала, для соединения втулки червячного колеса *30* с водилом.

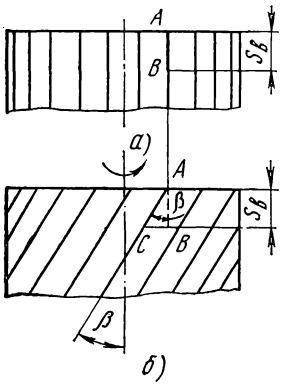


Рис. 51. Образование наклона зубьев при фрезеровании:
а — прямого зуба, *б* — косого зуба

Если нарезается прямозубое колесо однозаходной фрезой, то отношение числа оборотов стола и фрезы выражается формулой

$$\frac{n_с}{n_ф} = \frac{1}{z},$$

т. е. за один оборот стола фреза сделает z оборотов. За это время фреза перемещается вдоль оси заготовки на величину вертикальной подачи $s_в$, определяемую на один оборот стола, и из точки *A* перейдет в точку *B* (рис. 51, *а*).

При нарезании косозубых колес зубья должны получаться наклонными. При вертикальном перемещении фрезы на величину подачи $s_в$ зубья фрезы, находящиеся в зацеплении с зубьями колеса, должны перемещаться вдоль наклонных линий косых зубьев колеса. После оборота стола, когда фреза сделает z оборотов, зубья должны перейти из точки *A* в точку *C* (рис. 51, *б*). Стол, кроме одного оборота, соответствующего перемещению фрезы из точки *A* в точку *B*, должен сделать еще некоторую часть оборота, соответствующую дуге *BC*, на которую он дополнительно повернется, чтобы фреза переместилась вдоль наклонной линии зуба. Эта часть оборота есть то дополнительное вра-

щение, которое должно быть сообщено столу через гитару дифференциала и его механизм.

Движение зубьев нарезаемого колеса вокруг его оси происходит по окружности колеса. За один оборот колеса зубья пройдут вокруг оси путь, равный длине окружности $\pi d_д$, где $d_д$ — диаметр делительной окружности колеса. Из треугольника ABC получим $BC = s_в \operatorname{tg}\beta$, где β — угол наклона косых зубьев колеса.

Основное число оборотов вала XXV дифференциала (см. рис. 40 и 41), которое он сделает за один оборот стола, т. е. при повороте нарезаемого колеса по дуге окружности $\pi d_д$, обозначим $n_в$. Дополнительное число оборотов этого же вала, получаемое от червячного колеса *30* через механизм дифференциала при дополнительном повороте стола на величину $s_в \operatorname{tg}\beta$, обозначим Δn. Путь, проходимый зубьями колеса при повороте, пропорционален числу оборотов вала XXV, передающего вращение столу, т. е.

$$\frac{s_в \operatorname{tg}\beta}{\pi d_д} = \frac{\Delta n}{n_в}.$$

Отношение дополнительного числа оборотов Δn вала XXV к основному числу оборотов его $n_в$ по кинематической цепи VII дифференциала по направлению движения передачи будет составлять (см. рис. 41).

$$\frac{\Delta n}{n_в} = \frac{e}{f} \cdot x_л \frac{2}{24} x_п x_г \frac{1}{30} i_г,$$

где $x_р$ — передаточное отношение сменных колес гитары дифференциала.

Подставив значения величин $i_г = 2$,

$$\frac{e}{f} = 1; \quad x_л = \frac{24K}{z}; \quad x_п = \frac{3}{10} s_в,$$

получим

$$\frac{\Delta n}{n_в} = \frac{s_в \cdot K \cdot x_г}{25z}.$$

Сравнивая выражения отношения $\frac{\Delta n}{n_в}$, получим

$$\frac{s_в \operatorname{tg}\beta}{\pi d_д} = \frac{s_в K x_г}{25 \cdot z},$$

откуда

$$x_г = \frac{25 \cdot z \operatorname{tg}\beta}{\pi d_д K}.$$

Упростим это выражение, подставив значение величины $d_д$ из соотношения параметров зубчатых колес:

$$d_д = z m_s = \frac{z m_n}{\cos\beta},$$

получим

$$x_г = \frac{25 \cdot z \operatorname{tg} \beta \cos \beta}{\pi \cdot z m_n K} \quad \text{или} \quad x_г = \frac{25 \cdot \sin \beta}{\pi m_n K}.$$

Подсчитав величины, выведем окончательную формулу для расчета сменных колес гитары дифференциала:

$$x_г = \frac{a_2 \cdot e_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{7{,}95\,775 \sin \beta}{m_n K},$$

где β — угол наклона зубьев косозубого колеса; m_n— нормальный модуль; K — число заходов фрезы.

Для расчета сменных колес в полученную формулу подставляют значения величин m_n; β и K и вычисляют передаточное отношение, по которому надо подобрать сменные колеса.

Полученное число редко можно выразить простой дробью, числитель и знаменатель которой разлагаются на множители. Тогда это число заменяют другим, близким к расчетному, которое можно выразить простой дробью. Числитель и знаменатель этой дроби должны разлагаться на множители, из которых можно составить числа зубьев сменных колес, имеющихся в наборе станка.

Взятое число должно совпадать с полученным при расчете до четвертого или пятого десятичного знака. Числа для замены выбирают по таблицам, приводимым в специальной литературе.

Кроме этого способа, имеются и другие способы расчета передаточного числа для сменных колес: при помощи непрерывных дробей, при помощи логарифмов, подбором на арифмометре. Но все эти способы требуют сложных расчетов.

Величины углов β наклона зубьев в целых градусах приведены в таблицах каталогов станков с указанием необходимых сменных колес гитары дифференциала в зависимости от угла наклона и величины модуля.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления при бездифференциальной наладке станка. Косозубые колеса можно нарезать без включения механизма дифференциала и гитары дифференциала (у некоторых моделей станков дифференциал отсутствует). В этом случае необходимо так согласовать вращение фрезы и заготовки, чтобы заготовка совершала, кроме вращения, необходимого для взаимного зацепления с фрезой, также и дополнительное вращение для образования винтового направления зубьев. Это достигается расчетом сменных колес гитары деления. При $\frac{e}{f} = 1$ отношение сменных колес гитары деления будет

$$x_л = \frac{24K}{z}\left(\frac{T}{T - s_в}\right).$$

Как видно из этой формулы, необходимо отношение колес гитары деления, рассчитанное для прямозубых колес, умножить на величи-

ну $\frac{T}{T-s_в}$, где T — шаг винтовой линии косозубых колес (шаг спирали), определяемый по формуле $T = \frac{\pi m_n z}{\sin\beta}$,

а $s_в$ — вертикальная подача суппорта.

Пример расчета наладки. Нарезать косозубое цилиндрическое колесо: модуль $m_n = 5$; угол зацепления $\alpha_0 = 20°$; число зубьев $z = 40$; ширина венца $b = 60$; угол наклона зубьев $\beta = 32°$; материал — сталь 45; диаметр фрезы $d_ф = 100$; фреза однозаходная $K = 1$.

Подачу и скорость резания выбирают по нормативам: при черновом нарезании подача $s_в = 3$ *мм/об*, скорость $v = 27$ *м/мин*.

1. Число оборотов фрезы

$$n_ф = \frac{1000\,v}{\pi d_ф} = \frac{1000 \cdot 27}{3{,}1416 \cdot 100} = 85{,}94 \text{ об/мин};$$

по графику (см. рис. 49) принимаем ближайшее число оборотов $n_ф = 79$ и сменные колеса в кинематической цепи передачи вращения фрезе

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{25}{35}.$$

2. Сменные зубчатые колеса гитары вертикальной подачи

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{3}{10} s_в = \frac{3}{10} \cdot 3 = \frac{9}{10};$$

по таблице руководства к станку

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d} = \frac{45}{50} \quad \text{или} \quad \frac{60 \cdot 30}{40 \cdot 50}.$$

3. Сменные зубчатые колеса гитары деления

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24K}{z} = \frac{24 \cdot 1}{40} = \frac{48}{80}.$$

4. Сменные зубчатые колеса гитары дифференциала

$$x_г = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} \cdot \frac{7{,}95\,775}{m_n \cdot K} \cdot \sin\beta = \frac{7{,}95775}{5 \cdot 1} \sin 32° =$$

$$= \frac{7{,}95775}{5} \cdot 0{,}52992 = 0{,}84339417.$$

Подбираем заменяющее число

$$0{,}84337349 = \frac{70}{83}.$$

Сменные зубчатые колеса будут:

$$\frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{70}{83}.$$

Наладка станка

Станки для нарезания косозубых колес налаживают почти так же, как и для нарезания прямозубых.

Настройка дифференциала. При настройке дифференциала устанавливают сменные зубчатые колеса гитары дифференциала и включают дифференциал установкой кулачка *N*, соединяющего червячное колесо с водилом (см. рис. 43, *б*).

В зависимости от разных сочетаний направления витков фрезы и наклона зубьев колеса и направления подачи необходимо устанавливать в перебор *e* : *f* и в гитары паразитные колеса. В табл. 3 приведены все случаи зубонарезания с указанием схемы установки сменных колес гитар, в том числе и паразитных. Этой таблицей следует руко-

Таблица 3

Схема установки сменных зубчатых колес

Направление винтовой линии заготовки	Фреза	Направление вращения стола и фрезы. Установка фрезы	Зубчатые колеса	Сменные колеса гитары деления		Сменные колеса гитары подач				Сменные колеса гитары дифференциала при попутном и встречном фрезеровании	
						Встречное фрезерование		Попутное фрезерование			
				2	4	2	4	2	4	2	4
Левое	Правоходовая	$\delta=\beta+\lambda$	e, f	a, d	a, b, c, d	a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, b_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2
Левое	Левоходовая	$\delta=\beta-\lambda$	e, f			a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, b_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2
Правое	Правоходовая	$\delta=\beta-\lambda$	e, f			a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2
Правое	Правоходовая	$\delta=\beta-\lambda$	e, f			a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2
Правое	Левоходовая	$\delta=\beta+\lambda$	e, f			a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2
Правое	Левоходовая	$\delta=\beta+\lambda$	e, f			a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_1, d_1	a_1, b_1, c_1, d_1	a_2, d_2	a_2, b_2, c_2, d_2

водствоваться, если в карте наладки не указан порядок установки паразитных колес.

Угол поворота суппорта. Угол δ определяется в зависимости от направления витков фрезы и наклона зубьев нарезаемого колеса: если они одноименные, то этот угол равен разности углов наклона зубьев и подъема витков $\delta = \beta - \lambda$; если колесо и фреза разноименные, то этот угол равен сумме тех же углов $\delta = \beta + \lambda$. При нарезании правых колес с большим углом поворота суппорт поворачивают так, чтобы ведущий конец шпинделя расположился справа и поворот его был бы направлен вверх. При таком расположении шпинделя сменные колеса $a_0 : b_0$ устанавливают на валы *III* и *IV* (см. рис. 40).

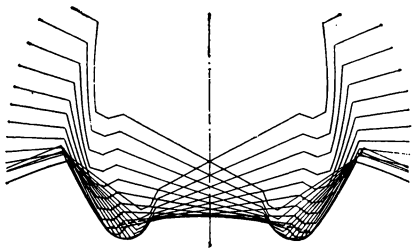


Рис. 52. Образование профиля прямобочных шлицев при обкатке их профилями зубьев червячной фрезы

Нарезание колес с зацеплением Новикова. Эти колеса изготовляются с косыми зубьями, поэтому наладка станка для нарезания их и процесс нарезания производится, как для косозубых колес с эвольвентным зацеплением, только с некоторыми особенностями.

При установке фрезы на глубину нарезаемых зубьев надо точно выдерживать расстояние между осью стола и осью фрезы, равное сумме начальных радиусов фрезы и нарезаемого колеса. Это расстояние должно быть указано в карте технологического процесса и по мере переточки фрезы его необходимо корректировать. Нельзя передвигать суппортную стойку для получения необходимой толщины зубьев.

В осевом направлении фрезу устанавливают так, чтобы середина толщины ее зуба по какой-либо продольной канавке точно располагалась по направлению к оси заготовки, т. е. по центру продольной оси станка, иначе получится неправильный профиль нарезаемых зубьев колеса.

Нарезание зубьев разных профилей на деталях цилиндрической формы. Червячной фрезой по принципу обкатки можно нарезать не только эвольвентные, но и другие профили зубьев. Для этого надо только, чтобы зубья фрезы имели соответствующий профиль, который при обкатке должен формировать необходимый профиль нарезаемых зубьев. Таким методом нарезают зубья звездочек для цепных передач, прямобочные и треугольные шлицы на валиках и др.

Принцип формирования прямозубых шлицев показан на рис. 52.

Шлицевые валики и звездочки можно нарезать на зубофрезерных станках. Но при небольшом числе нарезаемых зубьев требуется большое число оборотов стола, чего нельзя получить на зубофрезерных станках (для станка 5Д32 число оборотов стола в минуту не должно превышать восьми). Поэтому нарезание шлицев на зубофрезерных стан-

ках непроизводительно. Такие детали нарезают на шлицефрезерных станках.

Наладка станка для нарезания шлицев ничем не отличается от наладки для нарезания зубчатых колес.

§ 24. НАЛАДКА СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

Червячные колеса нарезают двумя способами: при радиальной подаче фрезы и при осевой (тангенциальной).

При радиальной подаче суппортная стойка с фрезой в процессе работы перемещается к заготовке, пока ось фрезы не окажется от оси стола на расстоянии, равном межосевому расстоянию от колеса до сопрягаемого червяка.

Расчеты при наладке

Расчет сменных зубчатых колес гитары в кинематической цепи деления. Такой расчет выполняют по тем же формулам, по каким рассчитывают прямозубые колеса.

Расчет сменных колес гитары в кинематической цепи радиальной подачи. Отношение чисел оборотов винта *XIX* (см. рис. 40, 41), перемещающего суппортную стойку, и стола по кинематической цепи *V* будет:

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} x_п \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25};$$

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{2}{25} x_п.$$

За один оборот стола при $a_{с_1} = 1$ получим

$$n_{в_1} = \frac{2}{25} x_п.$$

Число оборотов этого же винта в зависимости от величины его шага t и величины подачи $s_р$, *мм* за один оборот стола будет:

$$n_{в_1} = \frac{s_р}{t}.$$

Сравнивая значения числа оборотов винта, получим

$$\frac{2}{25} x_п = \frac{s_р}{t}$$

Величина шага винта $t = 10$ *мм*, тогда

$$x_п = \frac{5}{4} s_р,$$

и формула для расчета сменных колес гитары подачи будет следующей:

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{5}{4} s_р.$$

Расчет сменных зубчатых колес гитары в кинематической цепи осевой подачи суппорта. Отношение чисел оборотов винта *XXIII*, перемещающего осевой суппорт, и стола по кинематической цепи *VI*, связывающей их движения, будет составлять

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} x_п \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{1}{50};$$

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{x_п}{5}.$$

Число оборотов винта за один оборот стола

$$n_{в_1} = \frac{x_п}{5};$$

это же число оборотов винта в зависимости от осевой подачи s_a равно

$$n_{в_1} = \frac{s_a}{t}.$$

Сравнивая числа оборотов винта, получим

$$\frac{x_п}{5} = \frac{s_a}{t}.$$

Так как шаг винта $t=5$ *мм*, то передаточное отношение сменных колес будет $x_п=s_a$; тогда формула расчета сменных колес при осевой подаче

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = s_a.$$

Радиальную подачу $s_р$ или осевую s_a назначают и по их величине рассчитывают сменные колеса по приведенным формулам. При выборе подач и сменных колес можно пользоваться таблицей из руководства к станку без расчета.

Расчет сменных зубчатых колес гитары и кинематической цепи дифференциала при нарезании с осевой подачей. Так как зубья червячной фрезы расположены по винтовой линии, то фреза, кроме выполнения поступательного движения и вращения, должна еще поворачиваться вокруг оси, т.е. фреза должна иметь при неизменном числе оборотов стола $n_с$ еще и дополнительное вращение. Для получения дополнительного числа оборотов фрезы настраивают гитару дифференциала и включают механизм дифференциала при помощи установки кулачка *N*.

Путь перемещения фрезы вдоль ее оси за время нарезания обозначим буквой l; осевой шаг ее t_a равен торцовому шагу колеса; ход равен Kt_a; осевая подача за один оборот колеса s_a.

За один дополнительный оборот фреза перемещается на длину хода ее витков Kt_a. Дополнительное число ее оборотов за время перемещения на длину l будет:

$$\Delta n_ф = \frac{l}{K \cdot t_a}.$$

Число оборотов стола при перемещении фрезы на длину l составит:

$$n_с = \frac{l}{s_a}.$$

Отношение этих чисел оборотов составит:

$$\frac{\Delta n_ф}{n_с} = \frac{ls_a}{Kt_a l} \text{ или } \frac{\Delta n_ф}{n_с} = \frac{s_a}{Kt_a}.$$

Дополнительное число оборотов фреза получает по кинематической цепи *VIII*, связывающей вращения фрезы и стола через гитару и механизм дифференциала. Отношение дополнительного числа оборотов фрезы к числу оборотов стола по этой цепи будет:

$$\frac{\Delta n_ф}{n_с} = \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot x_п \cdot x_r \cdot \frac{1}{30} \cdot i_r \cdot \frac{46}{46} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{16}{64};$$

при $x_п = s_a$; $i_p = 2$ это отношение равно

$$\frac{\Delta n_ф}{n_с} = \frac{2}{15} s_a x_r.$$

Сравнивая отношения чисел оборотов, получим

$$\frac{s_a}{K \cdot t_a} = \frac{2}{15} s_a x_r,$$

откуда

$$x_r = \frac{15}{2K \cdot t_a}.$$

Заменим $t_a = t_s = \pi m_{oc}$, где m_{oc} — осевой модуль фрезы, равный торцовому модулю m_s колеса. Формула для расчета сменных колес гитары дифференциала при нарезании черновых колес с осевой подачей будет выражена формулой

$$x_r = \frac{15}{2\pi m_s K} \text{ или } x_r = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{2{,}38733}{m_s K}.$$

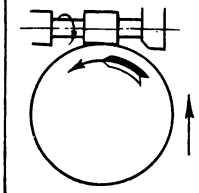
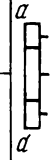
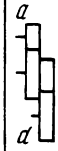
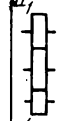
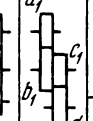
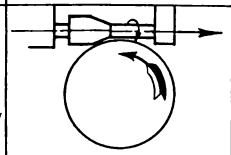
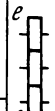
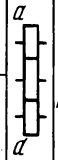
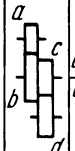
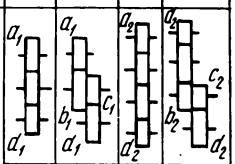
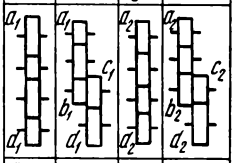
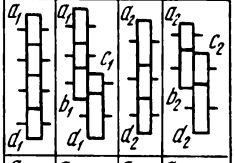
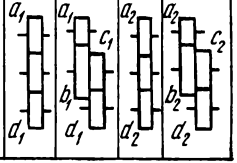
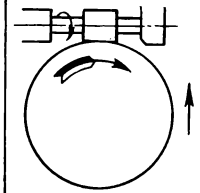
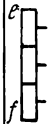
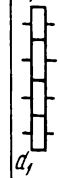
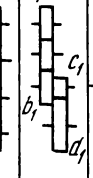
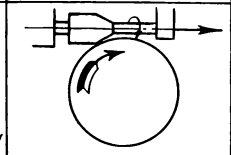
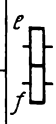
Наладка станка

Особенности наладки при нарезании червячных колес заключаются в следующем.

При радиальной подаче ось шпинделя с оправкой для фрезы располагают горизонтально, шкала поворота суппорта должна показы-

Таблица 4

Схема установки колес в гитарах

Направление винтовых канавок у червяка	Нарезание с радиальной подачей						Нарезание с осевой подачей									
	Направление вращения стола, фрезы и направление подачи	Зубчатые колеса перебора	Сменные колеса гитары деления		Сменные колеса гитары подачи		Направление вращения фрезы, стола и направление подачи	Зубчатые колеса перебора	Сменные колеса гитары деления		Сменные колеса гитары подач		Сменные колеса гитары дифференциала	
			2	4	2	4			2	4	2	4	2	4
Правое														
Левое														

вать нуль. По высоте суппорт устанавливают так, чтобы ось фрезы приходилась против середины ширины венца колеса. В таком положении суппорт закрепляют на стойке, после чего устанавливают сменные колеса гитары для радиальной подачи стойки.

Затем устанавливают упор *А* автоматического выключения подачи (см. рис. 42). Для этого стойку открепляют от станины и перемещают к заготовке до соприкосновения фрезы с заготовкой. Затем упор отодвигают от стойки на величину глубины нарезаемых зубьев *h* и закрепляют, после чего включают падающий червяк.

При чистовом нарезании червячных колес фрезерование должно закончиться, когда ось фрезы будет находиться от оси колеса на расстоянии, равном межосевому расстоянию червячной пары. В этом случае упор *А* следует расположить так, чтобы подача стойки выключалась, когда ось фрезы будет находиться от оси стола на межосевом расстоянии. Увеличивать или уменьшать это расстояние для регулирования толщины нарезаемых зубьев нельзя.

При осевой подаче устанавливают специальный суппорт, при котором возможно механизированное осевое перемещение фрезы. Ось фрезы устанавливают горизонтально, а вертикальное расположение ее относительно заготовки такое же, как при радиальной подаче. Фрезу на оправке устанавливают так, чтобы она находилась сбоку заготовки со стороны начала осевого перемещения при подаче. Суппортную стойку подвигают к заготовке, причем ось фрезы должна находиться от центра нарезаемого колеса на межосевом расстоянии червячной пары, и в таком положении фрезу закрепляют. Падающий червяк должен быть выключен. Затем устанавливают сменные зубчатые колеса гитары для осевой подачи, настраивают механизм дифференциала и устанавливают сменные колеса гитары дифференциала.

Остальная наладка для нарезания червячных колес такая же, как и для цилиндрических колес.

Схема установки сменных колес в гитарах, в том числе и паразитных, для разных случаев зубонарезания червячных колес приведена в таблице 4.

§ 25. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Измерение зубьев колес. Высота зубьев измеряется специальными шаблонами, а также универсальным глубиномером или линейкой штангенциркуля.

Толщину зубьев можно измерять по двум размерам: по общей нормали и по хорде дуги окружности.

Размер по общей нормали охватывает несколько зубьев в зависимости от числа их на венце колеса. Измерение размера по общей нормали производится или предельными скобами с удлиненными губками или универсальными инструментами: микрометром со специальными наконечниками (рис. 53, *а*) и индикаторной скобой (рис. 53, *б*).

При измерении размера по общей нормали измеряющий инструмент не соприкасается с какими-либо другими элементами колеса, кроме боковых профилей зубьев, а потому результат измерения не зависит от других размеров колеса, кроме толщины зубьев. Этот способ измерения наиболее удобен и распространен.

Толщина зубьев по хорде измеряется на определенной высоте от вершины их и мерительный инструмент устанавливается на высоту от хорды до вершины зубьев. Измерения по хорде

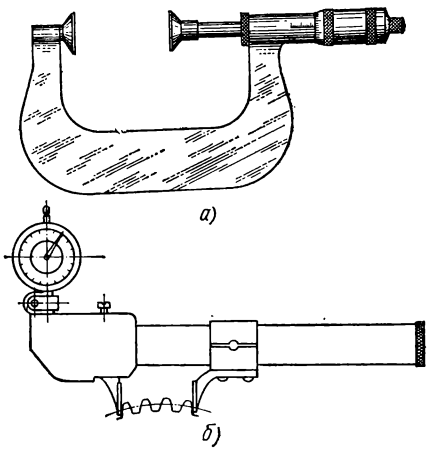


Рис. 53 Измерение размера по общей нормали:
а — микрометром, *б* — индикаторной скобой

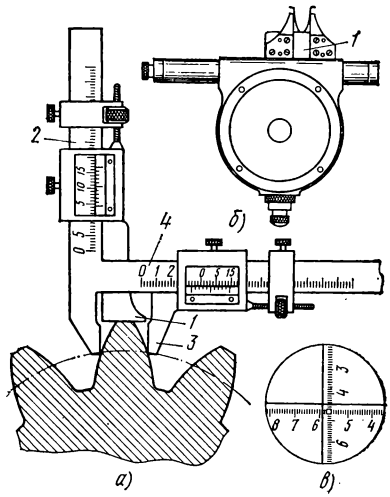


Рис. 54. Зубомеры для измерения размера по хорде:
а — штангензубомер, *б* — оптический зубомер, *в* — окуляр для шкал

выполняют специальными предельными скобами и универсальными зубомерами. Скобы имеют высоту губок, равную высоте замера зуба, и при измерении выемка между губками скобы опирается на вершину зуба.

Зубомеры применяют трех типов: штангензубомер, оптический и тангенциальный. Штангензубомер (рис. 54, *а*) имеет две подвижные губки, устанавливаемые на размеры по шкалам с нониусами. Губка-упор *1* устанавливается по шкале *2* на высоту, равную расстоянию от хорды до вершины зуба, а губка *3* перемещается при измерении толщины зуба, отсчитываемой по шкале *4*. Шкалы этого зубомера имеют мелкие деления и по ним трудно вести отсчет. Оптический зубомер, изображенный на рис. 54, *б*, не имеет этого недостатка. В нем горизонтальная и вертикальная шкалы помещены в корпусе. Перемещения упора *1* и подвижной губки производят наружными винтами, а риски делений наблюдают через окуляр в центре корпуса. По-

казания шкал отсчитывают от неподвижных перекрещивающихся рисок окуляра (рис. 54, *в*).

Тангенциальный зубомер (рис. 55) измеряет отклонение высоты, на которой расположена хорда, от вершины зуба. Зубомер предназначен для измерения зубьев с определенным углом исходного контура. Изготовляют эти зубомеры для стандартного угла, равного 20°. В корпусе симметрично ножке индикатора расположены измерительные губки, грани которых образуют исходный контур рейки. Угол между губками составляет 40° (двойной угол 20°). Обе измерительные губки разводят для настройки на размер в зависимости от модуля проверяемых зубьев. Настраивают их по роликам, диаметры которых соответствуют модулям зубьев (рис. 55, *а*). При касании губками ролика индикатор устанавливают на нуль. Настроенный зубомер переносят на зуб колеса и ножку индикатора упирают в вершину зуба (рис. 55, *б*). Отклонение индикаторной стрелки от нуля в сторону плюса указывает на увеличение высоты расположения хорды, что свидетельствует об уменьшении толщины зуба. Отклонение стрелки индикатора в сторону минуса указывает на уменьшение высоты расположения хорды, что свидетельствует об утолщении зуба. Зависимость между отклонением высоты Δh и отклонением толщины ΔS зуба выражается формулой $\Delta S = 2\Delta h \operatorname{tg} \alpha_0$; при $\alpha_0 = 20°$, $\Delta S = 0{,}72794\Delta h$.

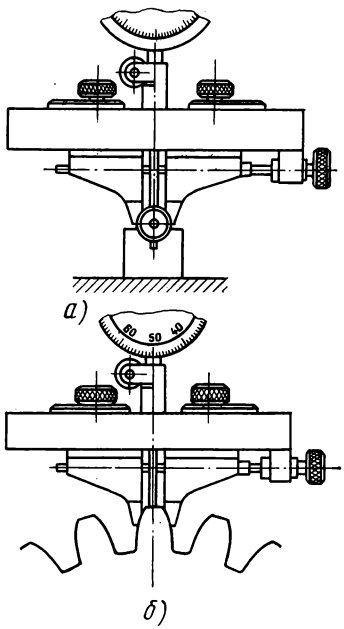


Рис. 55. Тангенциальный зубомер:

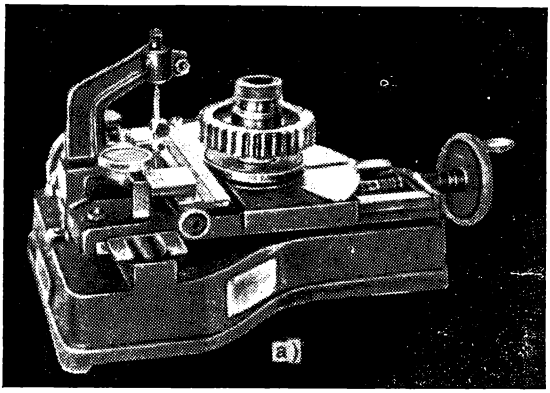
а — настройка зубомера по ролику, *б* — измерение отклонения высоты зуба от нулевой установки

Измерение по хорде производят по высоте зуба, отсчитываемой от его вершины. Эта высота может изменяться в зависимости от наружного диаметра колеса, поэтому результаты измерения зависят от точности выполнения размера этого диаметра.

Проверка профиля зубьев. Отклонение профиля зубьев от эвольвенты проверяют на эвольвентомерах со сменными дисками и универсальных.

Общий вид эвольвентомера со сменными дисками приведен на рис. 56, *а*, а схема измерения — на рис. 56, *б*. Диск *1* для каждого измеряемого колеса изготовляется с диаметром, равным диаметру его основной окружности. Диск и колесо устанавливают на одну ось и закрепляют между собой неподвижно. Линейку *2* укрепляют на поперечных салазках; с линейкой связан измерительный наконечник *3*, один конец которого подводят к измеряемому профилю зуба и прижимают к нему пружиной, а второй опирается на ножку индикатора *4*,

установленного на салазках. Диск с колесом при помощи продольных салазок подводят к линейке, слегка прижимают к ней и в таком положении продольные салазки закрепляют. При проверке эвольвенты профиля зуба поперечные салазки вместе с линейкой перемещают относительно диска. При поступательном перемещении линейки диск



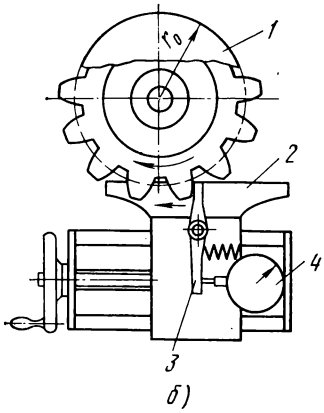


Рис. 56. Эвольвентомер со сменными дисками:
а — общий вид эвольвентомера, *б* — схема проверки эвольвенты

без скольжения катится по ней, с ним вместе вращается колесо и наконечник скользит по профилю зуба. Если профиль имеет отклонение от эвольвенты, то наконечник, соприкасающийся с ним, перемещается перпендикулярно профилю, а второй конец его нажимает на ножку индикатора, стрелка которого показывает отклонение профиля зуба от эвольвенты.

В универсальном эвольвентомере вместо сменных дисков имеется один постоянный сектор, который механизмом прибора можно настраивать на соответствующую основную окружность проверяемого колеса. В остальном универсальный эвольвентомер работает аналогично эвольвентомеру со сменными дисками.

Проверка биения профилей зубьев относительно оси колеса. Такая проверка производится индикатором при помощи ролика (рис. 57). Проверяемое колесо *1*, посаженное на оправку *2*, устанавливается с оп-

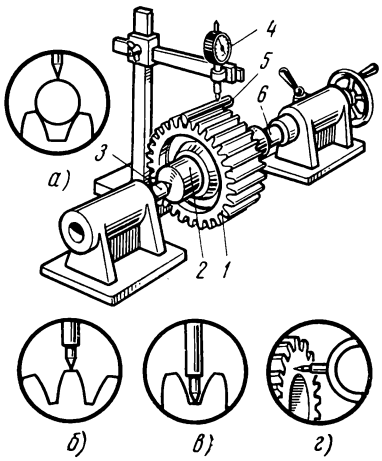


Рис. 57. Проверка биения зубчатого колеса

равкой на центра *3* и *6* (*3* — неподвижный центр, *6* — подвижный), и во впадину между зубьями закладывается ролик *5* такого диаметра, чтобы он касался профилей зубьев близко к делительной окружности. Сверху к ролику подводится ножка индикатора *4*, и стрелка его устанавливается на нуль.

Ролик переставляется в каждую следующую впадину, колесо поворачивается, и ножка индикатора подводится к ролику (рис. 57, *а*). Максимальное колебание стрелки индикатора на всех зубьях венца показывает биение профилей зубьев относительно оси.

Таким же образом можно проверять без применения ролика биение внешнего диаметра колеса (рис. 57, *б*), диаметра во впадинах между зубьями (рис. 57. *в*) и биение торцов (рис. 57, *г*).

Проверка пятна контакта и отклонения длины зубьев. Пятно контакта и отклонение зубьев, регламентируемые нормами точности, проверяют в зацеплении эталонного колеса с проверяемым. Пятно контакта по высоте и по длине выражается в процентах. Колеса устанавливают на шпиндели контрольно-обкатного станка и вводят в зацепление. Для получения ясного отпечатка пятна эталонное колесо покрывают тонким слоем краски и при вращении одно из колес притормаживают.

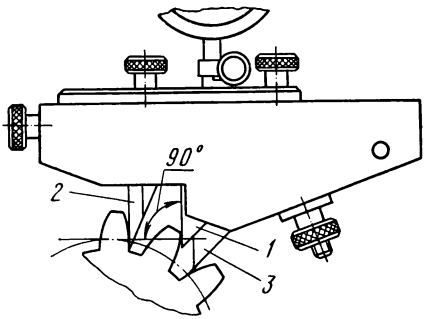


Рис. 58. Шагомер основного шага

Правильность направления зубьев характеризуется расположением пятна контакта по длине. При отклонении направления зубьев пятно смещается по длине. Кроме того, отклонение направления можно проверять на специальных приборах (прибор МИЗ для контроля контактной линии, прибор БВ-973 завода ЧИЗ).

Проверка равномерности основного и окружного шагов. Расположение зубьев по венцу колеса характеризуется равномерностью основного или окружного шага. Отклонение шага от номинального значения указывает на неточность расположения зубьев. Основной шаг определяют измерением расстояния по нормали между двумя одноименными профилями двух соседних зубьев.

Шагомер основного шага, изображенный на рис. 58, имеет две губки *1* и *2*, соприкасающиеся с профилями зубьев. Губка *1* устанавливается в зависимости от величины модуля и закрепляется неподвижно. Губка *2* в процессе измерения может смещаться и нажимать на ножку индикатора, стрелка которого будет показывать изменение основного шага. Для устойчивости шагомера при измерении имеется губка *3*, упирающаяся в профиль соседнего зуба.

Индикатор настраивают на ноль по эталону, размер которого равен номинальному значению основного шага, затем шагомер устанавливают на зубья колеса и слегка покачивают; отклонение стрелки индикатора

показывает отклонение основного шага от номинального его значения.

Комплексная проверка зубчатых колес. Вместо проверки отдельных погрешностей профилей зубьев колеса и их расположения (основного шага, отклонения профиля от эвольвенты и биения) или в дополнение к этой проверке часто производится комплексная проверка, в процессе которой выявляются комплексные погрешности зубьев.

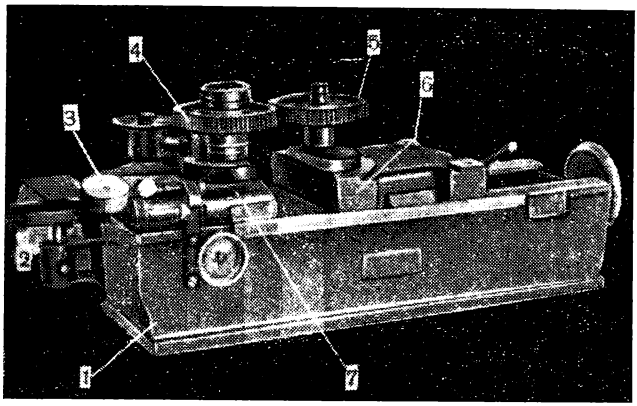


Рис. 59. Прибор МИЗ (модель КДП-300) для комплексной проверки зубчатых колес в зацеплении с мерительным колесом (эталоном)

Сущность метода комплексной проверки заключается в измерении колебания межцентрового расстояния при обкатке проверяемого колеса в плотном (беззазорном) зацеплении с измерительным (эталонным) колесом. Общий вид прибора МИЗ модели КДП-300 для комплексной проверки приведен на рис. 59. Он состоит из небольшой станины *1*, на которой расположены две каретки. Правая каретка перемещается вдоль станины при помощи винта и устанавливается неподвижно в определенном положении в зависимости от размеров вводимых в зацепление колес. Левая каретка *7* перемещается по направляющим станины только в небольших пределах.

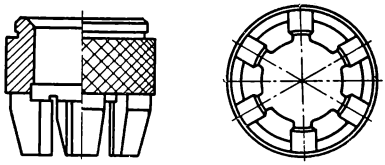


Рис. 60. Шлицевое кольцо для проверки наружных прямобочных шлицев

На оправках, вставляемых в отверстия в каретках, устанавливают колеса: проверяемое *5* и эталонное *4*, которые перемещением подвижной каретки вводятся в беззазорное зацепление. Плотное соприкосновение зубьев колес обеспечивается пружиной, прижимающей каретку *7* к закрепленной каретке *6*. На каретке *7* укрепляют индикатор *3*, ножка которого упирается в специальный упор на станине.

Колеса от руки поворачивают в плотном зацеплении. Если профили зубьев колеса имеют отклонения как по форме, так и по расположению, то они отталкивают колеса друг от друга, и каретка *7* смещается, при этом ножка индикатора нажимает на упор станины и стрелка индикатора показывает изменение межцентрового расстояния. Колебание межцентрового расстояния определяется при повороте проверяемого колеса на один оборот и при повороте в пределах зацепления одного зуба.

Для графического изображения показаний прибора включается механизм самописца, который на бумаге, навернутой на барабан *2*, записывает кривую колебаний межцентрового расстояния.

Проверка шлицев на валиках. Толщину шлица и диаметр окружности впадин между шлицами измеряют предельными скобами или универсальными инструментами: микрометром и штангенциркулем.

Расположение шлицев по окружности и концентричность их относительно оси валика проверяют шлицевым калибром — кольцом (рис. 60).

Если калибр заходит на шлицевый валик, значит шлицы расположены в пределах допускаемых отклонений; если калибр не заходит, значит отклонения больше допускаемых и валик не годен.

Проверка зубчатых колес на шум. Шум от зубчатых колес, возникающий при работе, является одним из наиболее распространенных и ощутимых дефектов, а потому качество зубчатых колес оценивается также по шуму при испытании их на холостом ходу и под нагрузкой.

На шум зубчатые передачи проверяют на контрольно-обкатных станках как универсальных, так и специального назначения.

На универсально-обкатном станке модели 5725М можно проверять на шум конические, гипоидные и цилиндрические зубчатые колеса, а также червячные передачи. Для проверки только цилиндрических колес служат станки 5792, 5798, 5799М.

При проверке колеса устанавливают на шпиндели станка и вводят в зацепление, сохраняя номинальное межосевое расстояние. Одному колесу сообщается быстрое вращение, а второе вращается как сопрягаемое. Для создания нагрузки ведомое колесо притормаживается. Шум определяют на слух.

В последнее время зубчатые колеса на шум проверяют при помощи специальных аппаратов-шумомеров: Ш-43, Ш-3М-ЛиОТ; МИУ-5 и др. Величина, характеризующая интенсивность звука или шума, называется уровнем звукового давления шума или сокращенно уровнем шума. Уровень шума измеряется в децибелах (*дб*).

Для испытания уровня шума микрофон шумомера устанавливают около испытываемой зубчатой передачи и шумомер включают в электрическую сеть. Шумомер преобразует звуковые колебания в электрическое напряжение, которое усиливается и отсчитывается по шкале аппарата, имеющей деления непосредственно в единицах уровня шума — в децибелах.

Уровень шума в зубчатых передачах не должен превышать 75—90 *дб*.

§ 26. ДЕФЕКТЫ ПРОФИЛЯ НАРЕЗАЕМЫХ ЗУБЬЕВ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Зубья колес, нарезаемых на зубофрезерных станках, могут иметь неправильную форму или располагаться по венцу неравномерно. Ниже рассматриваются чаще всего встречающиеся дефекты профилей зубьев и причины их возникновения.

1. Большая разность окружного шага (рис. 61, *а*), или большая накопленная погрешность шага (рис. 61, *б*) появляются в результате слабого крепления заготовки в приспособлении; биения оправки или заготовки на оправке; биения центров, если заготовка устанавливается в центрах; биения фрезы по диаметру или торцу; радиального или торцового биения червяка, вращающего стол станка; большого зазора или полного отсутствия такового в зацеплении зубьев гитары деления.

2. Отклонение основного шага может быть или одинаковым по всем зубьям венца в одну и ту же сторону (рис. 61, *в*) или же шаги разных зубьев будут отклоняться от теоретического на разные величины (рис. 61, *а*). Основными причинами неточности в первом случае являются неправильный угол исходного контура профиля фрезы; неправильный угол подъема винтовых продольных канавок фрезы; неправильный угол заточки передней грани фрезы (обыкновенно этот угол принимается равным нулю); неправильная установка суппорта на угол поворота.

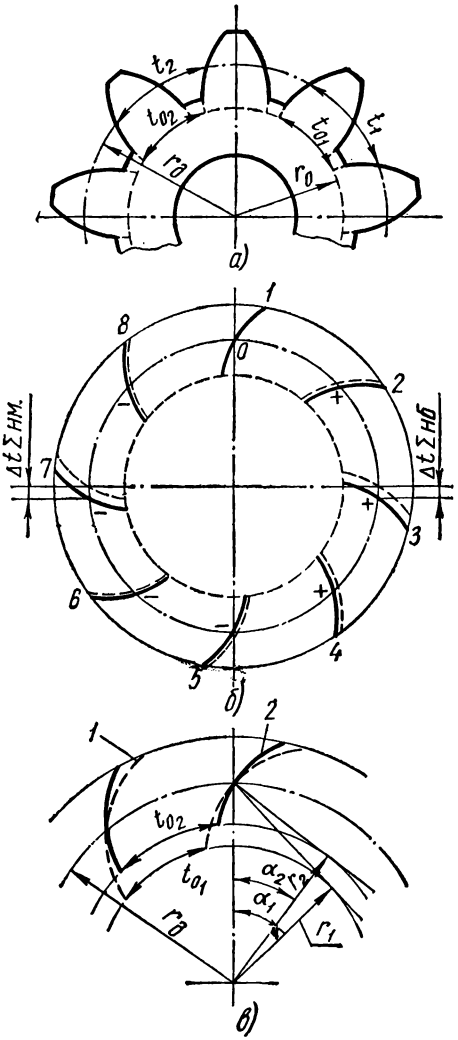


Рис. 61. Неравномерность окружного и основного шагов:

а — разность шагов: окружных $\Delta t = t_2 - t_1$; основных $\Delta t_0 = t_{0_2} - t_{0_1}$; *б* — накопленная погрешность окружного шага; пунктирная линия — точное расположение профилей, сплошная линия — действительное расположение профилей, *в* — отклонение основного шага по всему венцу $t_{0_2} > t_{0_1}$; *1* — необходимая эвольвента, *2* — получившаяся эвольвента

Причины неточности во втором случае те же, что и при большой разности окружности шага.

3. Отклонение эвольвенты профиля от теоретической в одну сторону (в плюс или минус, рис. 62, *а*) происходит по тем же причинам, что и отклонение основного шага по всем зубьям венца на одну и ту же величину. Неправильная эвольвента профиля (разное отклонение по высоте профиля с плюсом и минусом, рис. 62, *б*) получается вследствие неравномерности шага червячного колеса стола или наличия зазора в зацеплении его с червяком; радиального или торцового биения этого червяка; беззазорного зацепления колес гитары деления или гитары дифференциала.

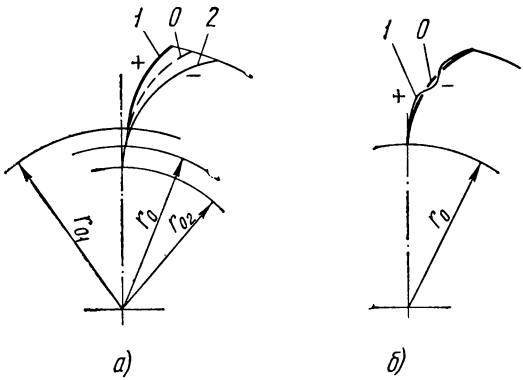


Рис. 62. Отклонение эвольвенты:
а — в одну сторону: *1* — в плюс; *2* — в минус;
б — неправильная эвольвента

4. Прослабление некоторых зубьев образуется при большой разности окружного шага в результате причин, рассмотренных ранее.

5. Колебание межцентрового расстояния на один оборот больше допускаемого при обкатке с эталонным колесом является следствием разности окружного шага или эксцентричности установки колеса на оправке при проверке на приборе.

6. Колебание межцентрового расстояния при повороте на один зуб больше допустимого в процессе проверки с эталонным колесом может появиться при неправильной эвольвенте или большом радиусе закругления у головки фрезы.

7. Неравномерная толщина зубьев по длине — конусообразность может возникнуть при непараллельности оправки крепления заготовки к направляющим суппортной стойки; овальность и корсетность — при выработке направляющих суппортной стойки.

8. Непараллельность зубьев относительно оси колеса или неправильный угол наклона зубьев косозубых колес возникают в случае неправильной настройки гитары деления или дифференциала, а также при отжиме заготовки в процессе нарезания и отклонения ее от своей оси.

9. Неправильное сопряжение профилей нарезаемых зубьев (на одном сопрягаемом профиле блеск от давления у головки, на другом у ножки) появляется при разности основных шагов у одного и другого сопрягаемых колес. Вследствие этого эвольвен-

та отклоняется у одного колеса в тело профиля, у другого — от профиля (рис. 62, *а*).

10. Недостаточная чистота поверхности профилей нарезаемых зубьев — дефект, вызванный плохой заточкой, биением или нежестким креплением фрезы, малым числом зубьев на фрезе, завышенной подачей, засорением зубьев фрезы стружкой, нежестким креплением заготовки, зазорами в кинематической цепи станка, в червячной паре стола, в шпинделе фрезы, в клиньях каретки суппорта, а также недостаточным давлением масла в компенсирующем устройстве при работе с попутной подачей.

§ 27. НАРЕЗАНИЕ ЧЕРВЯКОВ И КОЛЕС ГЛОБОИДНОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Червячные колеса и червяки червячной глобоидной передачи нарезают на зубофрезерном станке за две операции: предварительное (черновое) нарезание и окончательное.

При черновом нарезании оставляют припуск по толщине зубьев колеса и по толщине витка червяка; величину припуска в зависимости от величины модуля принимают от 0,5 до 1,5 *мм*.

Нарезание глобоидных червячных колес

Предварительное нарезание колес производится или червячной глобоидной фрезой или летучкой с двумя резцами, окончательное — только летучкой.

Червячная глобоидная фреза. Указанная фреза имеет такую же форму и такие же размеры, как глобоидный червяк, но с продольными

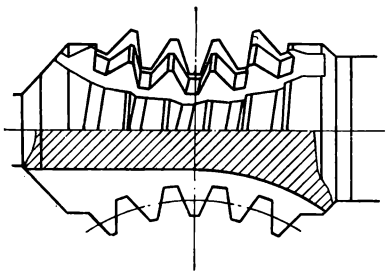


Рис. 63. Червячная фреза для чернового нарезания глобоидных колес

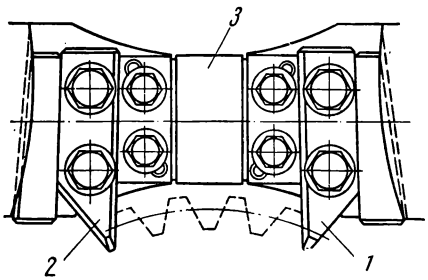


Рис. 64. Летучка для нарезания глобоидных колес

канавками, параллельными оси фрезы, образующими режущие зубья (рис. 63). Профили зубьев одинаковы с профилями витков червяка и располагаются так, чтобы линия продолжения режущих кромок их в направлении от оси фрезы касалась бы профильной окружности колеса, диаметр которой для чернового нарезания уменьшается на

величину двойного припуска на сторону зуба под окончательную обработку.

Летучка. Летучку выполняют в виде фрезерной оправки 3, на которой крепят два резца — правый *1* и левый *2* (рис. 64). При черновом нарезании устанавливают два черновых резца, для окончательного нарезания — два чистовых.

Резцы укрепляют на оправке так, чтобы продолжение линий их режущих кромок касалось профильной окружности, рассчитанной для чернового или чистового нарезания.

Черновое нарезание фрезой или летучкой производится с радиальной подачей. Колесо крепят в приспособлении, установленном на столе станка, и проверяют на биение. Фрезу или летучку с черновыми резцами устанавливают в шпиндель станка. Шпиндель располагают горизонтально.

Центральная ось горлового сечения фрезы или летучки должна проходить через ось стола. Расчет сменных колес гитар деления и подачи выполняют так же, как и при нарезании червячных колес с радиальной подачей.

При окончательном нарезании червячных колес в оправку летучки устанавливают чистовые резцы: правый и левый, причем продолжение линий их режущих кромок должно касаться профильной окружности колеса. Нарезание производят без радиальной подачи. Суппортную стойку придвигают к столу, причем расстояние между осью летучки и осью стола должно равняться межосевому расстоянию нарезаемой червячной пары.

Суппорт с летучкой располагают так, чтобы ось шпинделя находилась в средней плоскости венца колеса; шпиндель следует устанавливать горизонтально. Сменные колеса гитары деления те же, что и при черновом нарезании.

Резцы летучки вводят во впадины между зубьями предварительно нарезанного колеса, после чего включают механизм станка, сообщающий основное вращение столу и летучке через делительную гитару. Чтобы резцы обрабатывали боковые поверхности зубьев, необходимо применять круговую подачу.

Круговой подачей называется дополнительный поворот стола за каждый основной его оборот. Круговую подачу можно осуществлять вручную или при помощи механизма станка.

При ручной подаче включают механизм дифференциала (устанавливают кулачок *N*), но сменные колеса гитары дифференциала не устанавливают. Вращая рукояткой валик *XXIV* (см. рис. 40) гитары дифференциала, сообщают дополнительное вращение столу через дифференциал и гитару деления.

Для механической подачи устанавливают колеса гитары подачи и гитары дифференциала, рассчитанные на величину подачи, и включают механизм дифференциала; при этом стол получает дополнительное вращение.

Дополнительное вращение стола как при ручной подаче, так и при механической, вначале осуществляется в одну сторону, при этом

один из резцов обрабатывает одну сторону зубьев до требуемой чистоты; затем, не изменяя направления основного вращения стола, осуществляется дополнительное вращение в другую сторону, и второй резец обрабатывает вторую сторону зубьев до заданной толщины.

Нарезание глобоидных червяков

Глобоидные червяки нарезают головкой со сменными резцами или зубчатыми головками.

Головка со сменными резцами. Такая головка имеет вид диска, на котором крепится несколько резцов (рис. 65) — правых *1* и левых *2*. Режущая кромка каждого резца направлена по прямой, касательной к профильной окружности колеса и совпадает с профилем витков нарезаемого червяка. В головку вставляют черновые или чистовые резцы. Толщина режущей части черновых резцов меньше ширины впадины витков червяка на 0,5—1,5 *мм*, что обеспечивает образование припуска.

При черновом нарезании червяка головку с черновыми резцами устанавливают на стол станка, а заготовку червяка — в шпиндель фрезерного суппорта. Суппорт устанавливают так, чтобы ось червяка находилась на одном уровне с режущими кромками резцов. Шпиндель с червяком располагают горизонтально. Черновое нарезание осуществляют при радиальной подаче, а поэтому все расчеты и установки выполняют так же, как при нарезании червячных колес с радиальной подачей. Сменные колеса делительной гитары рассчитывают, исходя из числа зубьев колеса, сопрягаемого с нарезаемым червяком.

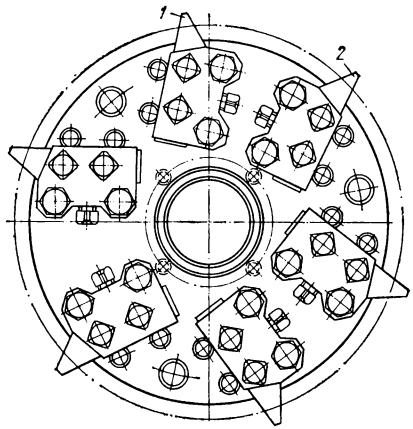


Рис. 65. Головка со сменными резцами для нарезания глобоидных червяков

При чистовом нарезании червяка к головке крепят чистовые резцы. Суппортную стойку придвигают к столу на расстояние между осью червяка и осью стола, равное межосевому расстоянию червячной передачи, и закрепляют. Гитару деления настраивают так же, как и при черновом нарезании. Затем поворачивают головку и устанавливают ее так, чтобы резцы зашли в предварительно нарезанную впадину между витками червяка. Столу и червяку сообщают основное вращение, при этом одновременно включают круговую подачу, осуществляемую дополнительным вращением стола сначала в одну, а потом в другую сторону. Обработку при круговой подаче выполняют так же, как при окончательном нарезании глобоидных

червячных колес: вручную или при помощи дифференциала и гитары дифференциала.

Нарезание червяков головками со сменными резцами — способ малопроизводительный и требует постоянного управления станком в процессе работы.

Способ нарезания зубчатыми головками более производительный. Нарезание зубчатыми головками выполняют также в две операции: черновое и окончательное.

Черновая зубчатая головка. Головку изготовляют в виде диска с нарезанными зубьями (рис. 66). Начальная окружность черновой

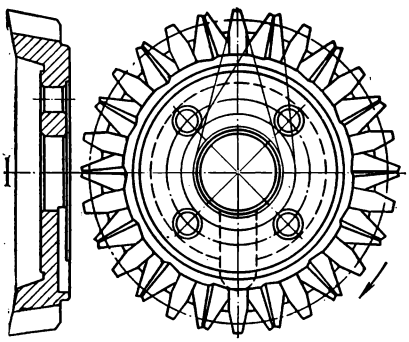


Рис. 66. Черновая зубчатая головка для нарезания глобоидных червяков

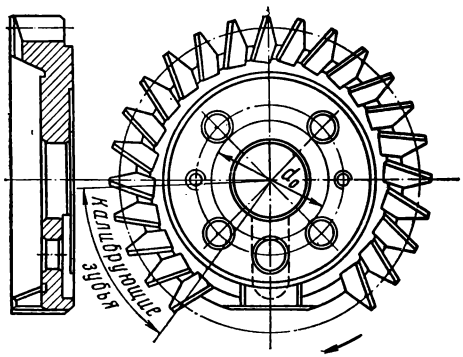


Рис. 67. Чистовая зубчатая головка для нарезания глобоидных червяков

зубчатой головки, профиль зубьев и число их такие же, как и у сопрягаемого с червяком червячного колеса, но зубья тоньше из-за припуска. Плоским торцом зубчатую головку устанавливают в приспособление на столе станка, при этом передние поверхности зубьев головки должны быть на уровне оси червяка. Нарезание черновой головкой производят с радиальной подачей, аналогично черновому нарезанию головкой со сменными резцами.

Чистовая зубчатая головка. Эта головка по конструкции похожа на черновую (рис. 67). Она имеет такое же количество зубьев, но часть их срезана. Режущие кромки на зубьях находятся только с одной стороны профиля и лежат в передней плоскости головки в направлении касательной к профильной окружности d_0 червячного колеса. Расположение зубьев по окружности неравномерное; шаг между ними незначительно меняется.

Наладку станка при нарезании червяка чистовой зубчатой головкой производят так же, как и при нарезании головкой со сменными резцами. Ось головки и ось нарезаемого червяка устанавливают на межосевом расстоянии нарезаемой червячной пары; режущие кромки зубьев головки располагают строго на уровне оси червяка; наименьшая толщина глобоида червяка (горловина) должна находиться строго по

середине станка против оси стола; круговая подача в этом случае не требуется, поэтому гитары подач и дифференциала не настраивают.

Зубчатую головку вводят в зацепление с предварительно нарезанным червяком со стороны ее срезанных зубьев. За один оборот головки срезают припуск на одной стороне витка червяка за счет разности шагов зубьев головки. Затем червяк переставляют: в шпинделе станка закрепляют другой конец его, и в таком же порядке обрабатывают другую сторону витка. Толщина нарезаемого витка регулируется поворотом червяка или стола в нужном направлении при разъединенных зубчатых колесах гитары деления с тем, чтобы витки червяка приблизились к режущим кромкам зубьев головки или отошли от них для увеличения или уменьшения срезаемого припуска.

ГЛАВА V

НАРЕЗАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС НА ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

§ 28. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ПРИ НАРЕЗАНИИ ДОЛБЯКОМ

Обработку колес на зубодолбежных станках осуществляют режущим инструментом, выполненным в виде зубчатого колеса — долбяком, у которого одна торцовая плоскость служит для опоры при закреплении на станке, а на второй имеются режущие кромки (см. рис. 31, *а*).

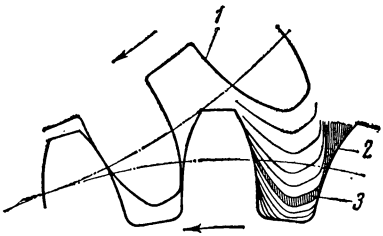


Рис. 68. Обкатка профиля зубьев колеса профилями зубьев долбяка:

1 — профиль зуба долбяка, *2* — профиль нарезаемого зуба колеса, *3* — срезаемый слой металла за один ход долбяка

Зубья колеса нарезают долбяком по методу обкатки, профили зубьев долбяка не совпадают с профилями нарезаемых зубьев, хотя их и выполняют по эвольвенте. Поэтому одним и тем же долбяком данного модуля можно нарезать колеса с разными числами зубьев. Обкатка осуществляется при последовательном положении профилей зубьев долбяка относительно профилей нарезаемых зубьев колеса в процессе их зацепления, пока они находятся в контакте (рис. 68). При обкатке долбяк и заготовка должны вращаться вокруг своих осей, как два зубчатых колеса в зацеплении. При нарезании колес с внешними зубьями они вращаются в разные стороны; при нарезании внутренних зубьев — в одну сторону. Передаточное отношение чисел оборотов долбяка и колеса в зависимости от числа зубьев их выражается отношением:

$$\frac{n_д}{n_з} = \frac{z_з}{z_д}.$$

Для прорезания зубьев в заготовке долбяк, кроме вращательного движения в зацеплении с заготовкой, должен совершать и поступательное движение, параллельное оси заготовки, тогда передние режущие кромки долбяка будут вырезать (долбить) впадины между зубьями заготовки и одновременно выполнять обкатку.

Для нарезания зубьев колеса на необходимую глубину нужно, чтобы зубья долбяка в процессе резания проходили между зубьями заготовки на этой глубине. Сразу установить долбяк на требуемую глубину нельзя, поэтому вначале происходит врезание при вращении заготовки и долбяка с постепенной радиальной подачей долбяка в направлении глубины зубьев (пока зубья его не врежутся на необходимую глубину).

После рабочего хода долбяк поступательно возвращается в исходное положение. Чтобы зубья долбяка не терлись об обработанные поверхности, заготовка вместе со столом отодвигается от долбяка, а в начале следующего рабочего хода опять придвигается.

В некоторых станках отодвигается долбяк, а заготовка не изменяет своего положения.

Таким образом, в процессе зубодолбления станок должен иметь следующие движения (указаны стрелками, рис. 69):

1) возвратно-поступательное движение x и p в вертикальном направлении параллельно оси заготовки (главное движение резания);

2) согласованные вращения v долбяка и стола, осуществляющие обкатку;

3) движение s врезания долбяка на глубину нарезаемых зубьев — радиальная подача;

4) колебательное движение $s_к$ стола — для отвода стола от долбяка и подвода к нему.

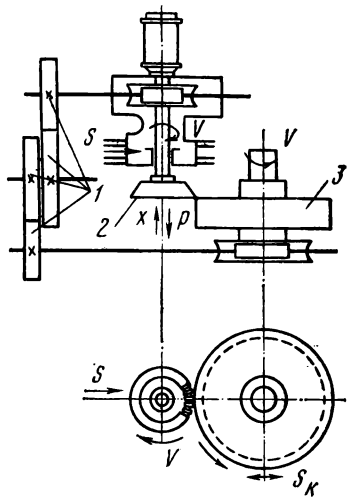


Рис. 69. Принципиальная схема механизма вращения заготовки и движения долбяка:
1 — сменные колеса, 2 — долбяк, 3 — заготовка

§ 29. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЙ СТАНОК 514

Устройство станка

Общий вид зубодолбежного станка изображен на рис. 70. Станина станка состоит из двух частей — нижней и верхней. В нижней части *15* размещены: стол *14*, гитара делений, делительная червячная пара стола, электродвигатель с приводом ускоренного вращения стола, рычаги качания стола. Верхняя часть станины закреплена на нижней. В ней слева смонтирован механизм *5* возвратно-поступательного движения долбяка и квадрат *2* для перемещения суппорта вручную с лимбом *3* для установки долбяка на глубину врезания, а у правого торца установлен механизм *11* автоматической радиальной подачи с рычагом *12* включения муфты радиальной подачи. Механизм управляет кулачком врезания (вращение кулачка вручную осуществляется квадратом *13*). На верхней плоскости станины расположен механизм круговых подач *6* со сменными колесами под кожухом и рычагом *7* переключения реверсивной муфты. По горизонтальным направляющим *9* станины перемещается суппорт *4* до упора *10*, в суппорте вертикально перемещается ползун с рейкой и штоссель *1*. На стол *14* устанавливают изделие, насаженное на оправку, конический хвост которой входит в коническое отверстие шпинделя стола. Стол качается параллельно направляющим

верхней станины. Под колпаком *8* находится буферная пружина, поглощающая толчки и выбирающая люфты в механизме главного движения.

Основные механизмы станка: суппорт и его направляющие, штоссель, шпиндель стола, делительная червячная пара стола, конические зубчатые колеса механизма главного движения — смазываются из масляных ванн, в которые заливают масло перед началом работы. Из

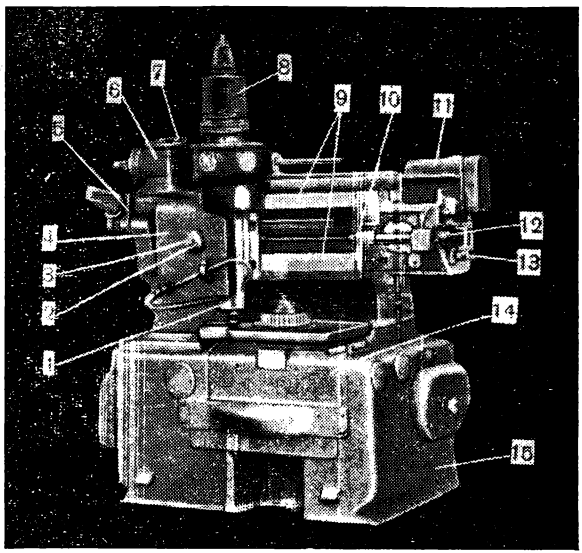


Рис. 70. Общий вид зубодолбежного станка 514

ванн масло подводят фителями к местам смазки. Сменные колеса гитар деления и подач, валики ручных управлений смазывают при помощи ручной масленки.

Рычажную систему качания стола и механизм ускоренного вращения стола смазывают при помощи тавотниц.

Охлаждающая жидкость к режущему инструменту и заготовке подается насосом с электроприводом, расположенным внутри нижней части станины. Электродвигатель насоса включается при включении главного электродвигателя. Выключается насос отдельным выключателем.

Работа на станке

Приступая к работе на станке, надо ознакомиться с технологической документацией и соответственно подготовить станок к работе.

В процессе работы может оказаться, что после окончания нарезания зубьев долбяк или суппорт мешают снятию нарезанного колеса.

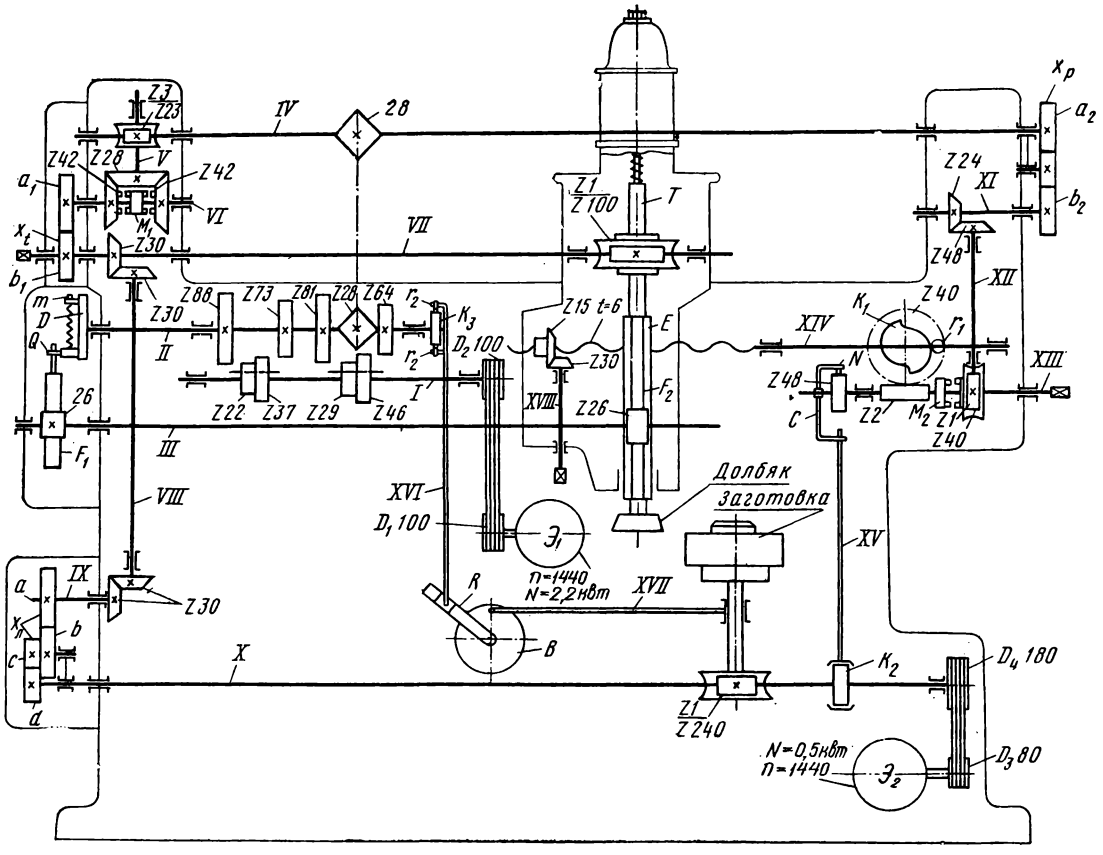


Рис. 71. Кинематическая схема зубодолбежного станка 514

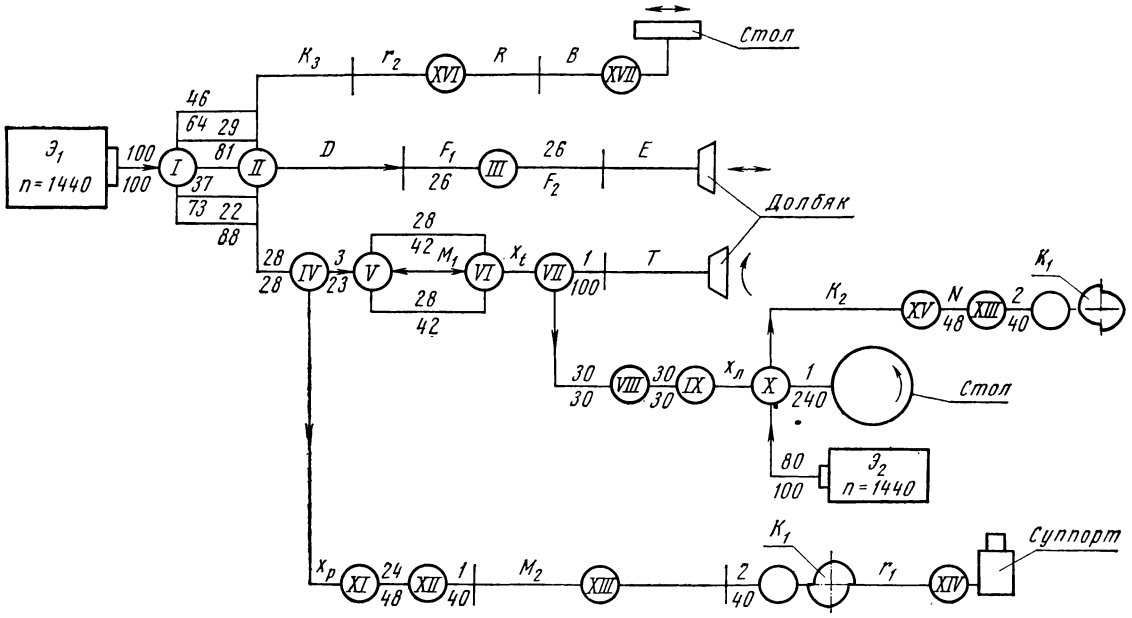


Рис. 72. Структурная схема зубодолбежного станка 514

В этом случае суппорт надо переместить влево, вращением рукоятки. После установки новой заготовки суппорт необходимо вернуть в прежнее положение, а для того чтобы заново не искать этого положения, пользуются упором *10*.

При работе на зубодолбежном станке, кроме соблюдения общих правил по технике безопасности, необходимо принимать следующие меры предосторожности. При установке долбяка на штоссель надо соблюдать особую осторожность, поскольку его устанавливают снизу вверх и держать его приходится за режущие кромки зубьев. При значительных размерах долбяков следует применять деревянные подставки, на которые нужно опирать долбяк, пока он не будет затянут гайкой. При быстром вращении стола во время проверки биения заготовки или приспособления необходимо осторожно обращаться с проверочным инструментом и заготовкой.

Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка изображена на рис. 71, а структурная — на рис. 72. Механизм станка получает движение от электродвигателя $Э_1$, передаваемое отдельным частям станка (долбяку, столу, суппорту) по следующим кинематическим цепям.

I. Возвратно-поступательное движение долбяка: электродвигатель $Э_1$— ползун E.

II. Вращение долбяка: вал *II* — штоссель T.

III. Вращение стола: долбяк — стол.

IV. Возвратно-поступательное движение (колебание) стола: вал *II* — стол.

V. Радиальная подача долбяка: вал *IV* — кулачок K_1.

VI. Механизм автомата остановки: вал X — кулачок K_1.

Рассмотрим подробно каждую кинематическую цепь.

Цепь I. Возвратно-поступательное движение долбяка. Движение передается от электродвигателя $Э_1$ через шкивы D_1: D_2 валу *I* и дальше через коробку скоростей к валу *II*. Коробка скоростей имеет четыре переключения, осуществляемые при помощи перемещения скользящих блоков, сообщающих передачи зубчатыми колесами *22* : *88*; *37* : *73*; *29* : *81* и *46* : *64*. Блоки перемещают рукояткой, расположенной сзади станка. Вал *II* вращает кривошипный диск D, который при помощи пальца Q вызывает возвратно-поступательное движение рейки F_1, находящейся в зацеплении с зубчатым колесом *26*, приводимым во вращение в одну и другую сторону. Вместе с этим колесом вращаются в обе стороны (качается) вал *III* и колесо *26*, которое находится в зацеплении с рейкой F_2 ползуна E и перемещает его возвратно-поступательно вверх и вниз.

В зависимости от включения зубчатых колес скользящих блоков коробки скоростей ползун E может совершать 125; 172; 253 и 359 двойных ходов в минуту. В ползуне расположен штоссель T, который может вращаться и поступательно перемещаться вместе с ползуном. Таким образом, осуществляется возвратно-поступательное движение долбя-

ка. Число двойных ходов долбяка равно числу оборотов кривошипного диска *D*. Длина хода регулируется винтом *m*.

Цепь II. Вращение долбяка. Вращение долбяку передается от вала *II* через пару звездочек *28*, связанных роликовой цепью, валу *IV* и дальше через червячную пару *3* : *23* валу *V*. На этом валу закреплено коническое зубчатое колесо *28*, входящее в зацепление с двумя коническими колесами *42*, насаженными свободно на вал *VI*. На этом же валу между колесами на шпонке насажена муфта M_1, которая попеременно может включать одни и другие колеса и, таким образом, изменять направление вращения вала *VI*, а с ним и вращение долбяка. Переключается эта муфта рычагом *7* (см. рис. 70). Дальше вращение передается через сменные колеса a_1: b_1 (см. рис. 71, 72) с передаточным отношением x_t круговой подачи валу *VII*, червячной паре 1 : 100 и штосселю *T* с долбяком. Сменные колеса обеспечивают разную величину круговой подачи.

Цепь III. Вращение стола. Согласно схеме от вала *VII*, вращение передается через конические колеса *30* : *30*, вал *VIII*, конические колеса *30* : *30* и гитару деления $x_л$ червячной паре *1* : *240* стола. Вращение стола должно согласовываться с вращением долбяка, причем достигается это подбором сменных колес гитары деления.

Цепь IV. Возвратно-поступательное движение стола перпендикулярно его оси. Осуществляется это движение через механизм качания. На валу *II* насажен кулачок K_3, по которому катятся ролики p_2, смонтированные в раме, закрепленной на верхнем конце тяги *XVI*. Каждый оборот вала *II*, как уже рассмотрено выше, сообщает через кривошипный диск *D* один двойной ход долбяку, а через кулачок K_3 тягу *XVI*, рычаг *R*, диск *B* и шатун *XVII* одно колебание столу. Эти движения согласованы: когда долбяк начинает двигаться вниз, стол придвигается к долбяку, а перед началом движения долбяка вверх стол отодвигается от долбяка. Величина перемещения долбяка 0,5 *мм*.

Цепь V. Радиальная подача долбяка (врезание). Долбяк на полную глубину зубьев заготовки врезается постепенно на некотором участке окружности. Причем заготовка и долбяк вращаются одновременно. Движение врезания осуществляется от вала *IV*, через сменные колеса гитары радиальной подачи $x_р$, конические колеса *24* : *48* и червячную пару *1* : *40*. Червячное колесо этой пары насажено свободно на вал *XIII*. При включении муфты M_2 рычагом *12* (см. рис. 70) вправо вращение передается от вала *XIII* (см. рис. 71, 72) червячной паре *2* : *40*. На одном валу с червячным колесом этой пары насажен неподвижно кулачок K_1 радиальной подачи (врезания), вращающийся вместе с этим колесом. К кулачку прижимается пружиной ролик r_1, закрепленный на винте *XIV*.

При вращении кулачка криволинейный участок его профиля, выполненный по спирали, отжимает ролик r_1 вправо и перемещает винт *XIV* (без вращения) в продольном направлении. Винт ввинчен в гайку зубчатого колеса *15*, закрепленного в суппорте; при перемещении винта суппорт с долбяком придвигаются к заготовке.

Механизм врезания управляется кулачком K_1. Кулачки в зависимости от числа проходов при долблении имеют разные профили. К станку прилагаются три кулачка: для одного (рис. 73, *а*), двух (рис.73,*б*) и трех проходов (рис. 73,*в*). На станке 514 при однопроходном кулачке за один оборот обрабатываются две заготовки: в первую половину оборота нарезается одна заготовка, во вторую — другая. Двух- и трехпроходные кулачки за один оборот осуществляют соответственно два или три прохода одной заготовки.

Во всех трех кулачках профиль одной четверти окружности построен по кривой — архимедовой спирали. При перемещении ролика по

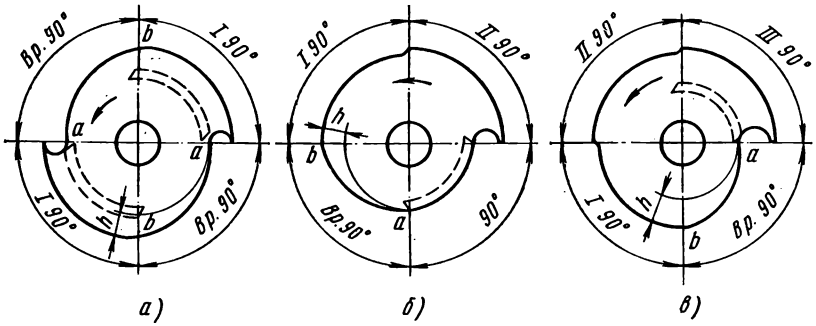


Рис. 73. Профили кулачков врезания

этой спирали (Вр. 90°) происходит врезание на глубину *h*. Спираль у однопроходного и трехпроходного кулачков начинается от выреза в кулачке, в точке *a* и, постепенно удаляясь от центра кулачка, оканчивается в точке *b*; у двухпроходного кулачка спираль начинается в точке *a*, расположенной под углом 90° от выреза, и оканчивается в точке *b*. От точки *b* профили кулачков идут по окружности. У однопроходного кулачка профиль после спирали выполнен по одной окружности, на участке угла I 90°; двухпроходного кулачка — по двум окружностям, на участке угла 90°, каждая спираль (I 90° и II 90°); трехпроходного кулачка — по трем окружностям, на участке угла 90° (I 90°; II 90°; III 90°).

При использовании однопроходного кулачка цикл нарезания одной заготовки заканчивается после полного оборота ее, не считая врезания, при повороте кулачка на 90°. Если колесо нарезается в два или три прохода, то устанавливается соответственно двух- или трехпроходный кулачок и после окончания врезания стол поворачивается на один оборот, а кулачок на 90° при каждом проходе. После первого прохода ролик переходит на следующую окружность кулачка, вследствие чего долбяк углубляется на величину припуска, равную разности радиусов этих окружностей, и стол опять поворачивается на один оборот, а кулачок на 90°. По окончании нарезания ролик попадает во впадину кулачка, с которой началось врезание, винт *XIV* с суппортом и дол-

бяком под действием пружины отодвигается от зубьев заготовки и станок автоматически останавливается.

Цепь VI. Механизм автоматической остановки станка. После окончания врезания муфта M_2 автоматически отключается от колеса *40* и включается храповик *48*, находящийся в зацеплении с собачкой *N*. Теперь вращение кулачка K_1 врезания связано с вращением стола через червячную пару *1* : *240*, вал *X*, эксцентрик K_2, тягу *XV*, сектор *C*, собачку *N*, храповик *48* и червячную передачу *2* : *40*. За один оборот вала *X* при помощи собачки храповик поворачивается на установленное на нем число зубьев, а вместе с ним и кулачок K_1. Когда за один, два или три оборота, при соответствующем кулачке, заготовка будет нарезана, станок остановится.

Установка долбяка на необходимое расстояние от центра стола, в зависимости от диаметра заготовки, осуществляется перемещением салазок суппорта по направляющим верхней станины. Перемещение осуществляется вращением валика *XVIII* при помощи рукоятки *2* (см. рис. 70). Валик вращает коническую зубчатую пару *30* : *15* (см. рис. 71), колесо *15* этой пары, имеющее внутри гайку с резьбой, закреплено в суппорте. Вращение колеса с гайкой относительно неподвижного винта *XIV* вызывает продольное установочное перемещение суппорта вдоль направляющих верхней части станины.

Быстрое вращение заготовки осуществляется при помощи отдельного электродвигателя $Э_2$, от которого через ременную передачу вращается вал *X*; далее через червячную передачу *1* : *240* вращение передается столу. До включения этого электродвигателя необходимо поднять собачку *N*, выключить муфту M_2 поворотом рукоятки *12* вправо (см. рис. 70) и расцепить гитару деления.

§ 30. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, РЕЖУЩИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Приспособления. В зависимости от размеров и формы нарезаемых колес приспособления для их крепления имеют различные конструкции и различные посадочные поверхности.

Для крепления заготовок при нарезании наружных зубьев применяют оправки и подкладочные кольца (рис. 74, *б*). Если устанавливают зубчатый венец, то подкладочное кольцо центрируют по оправке, и по наружной заточке кольца центрируют заготовку (рис. 74, *а*). Торцы подкладочных колец должны быть параллельны.

Режущий инструмент. Для нарезания зубьев колес применяют долбяки разных типов (рис. 75) в зависимости от размеров и формы нарезаемого колеса, а также с учетом того, чтобы штоссель станка не препятствовал прохождению долбяка вдоль ширины венца заготовки.

Долбяк устанавливают на заплечик штосселя с точно обработанной цилиндрической поверхностью и задней плоскостью упирают в торец заплечика (рис. 77, *б*). Для правильной установки долбяка без биения и перекоса отверстие в нем выполняют с большой точностью, а опорный торец чисто обрабатывают (доводят) и он должен быть строго

перпендикулярен оси отверстия. Диаметры отверстий в долбяках выполняют в дюймах по нормализованным размерам конца шпинделя; при переводе в миллиметры эти размеры имеют следующие величины: 31, 743; 44, 452 и 101,6 *мм*. Долбяки малых размеров выполняют с отверстиями меньше нормализованных и устанавливают на штоссель при помощи переходных оправок. Некоторые станки имеют в штосселе конусное отверстие, в котором долбяки закрепляют при помощи оправки с коническим хвостовиком. Долбяки малых размеров изготавливают с коническим хвостовиком и устанавливают непосредственно в шпиндель.

Число зубьев долбяка точно не зависит от числа зубьев нарезаемого

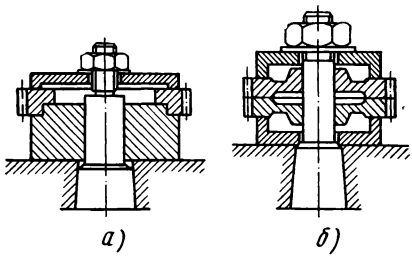


Рис. 74. Крепление заготовки на столе

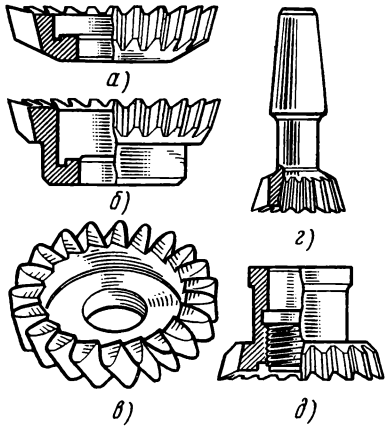


Рис 75 Типы зуборезных долбяков: *а* — дисковый, *б* — чашечный, *в* — дисковый косозубый, *г* — с коническим хвостовиком, *д* — чашечный с резьбой для крепления

колеса и одним и тем же долбяком данного модуля можно нарезать колеса с разными числами зубьев, но в определенных пределах. Если число зубьев нарезаемого колеса небольшое относительно числа зубьев долбяка, то подрезается ножка у нарезаемых зубьев. В специальных таблицах указано, какие наименьшие числа зубьев колес можно нарезать без подрезания долбяками с данными числами зубьев.

Для нарезания колес с внутренними зубьями применяют такие же долбяки, как и для нарезания внешних зубьев, но количество зубьев долбяка в этом случае еще в большей степени зависит от числа зубьев нарезаемого колеса. Разность между числами зубьев нарезаемого колеса и долбяка должна быть не меньше 12—25, в зависимости от числа зубьев колеса. Если эта разность недостаточна, то зубья долбяка при врезании будут срезать вершины профиля зубьев колеса. Профили зубьев долбяка выполняют по эвольвенте.

Параметры зубьев долбяка определяют в зависимости от модуля, но так как долбяки затачивают по передней поверхности, то у новых

долбяков исходные размеры рассчитывают с учетом запаса на переточку поверхности. Плоскость, в которой определяют номинальные размеры долбяка, называется *исходной плоскостью* (рис. 76). В ней номинальные размеры зубьев долбяка должны соответствовать размерам зубьев нарезаемого колеса: шаг и угол зацепления долбяка и колеса должны быть равны между собой, толщина зуба долбяка $S_и$, высота головки его h должны соответствовать ширине впадины и высоте ножки колеса. В режущей плоскости до исходного сечения и после стачивания долбяка за исходную плоскость равенство этих величин не сохраняется и долбяк входит в зацепление с колесом со смешанным исходным контуром.

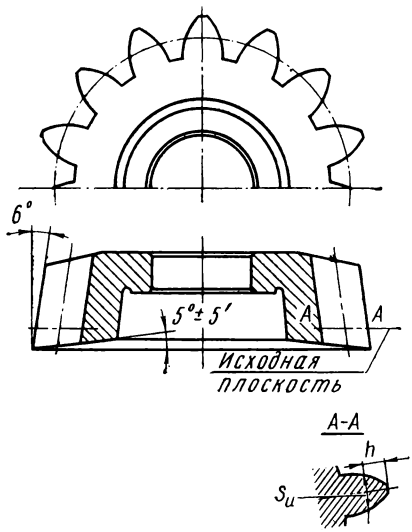


Рис. 76. Чертеж долбяка

Номинальные размеры долбяка указывают на чертеже. При маркировке долбяка указывают: модуль, угол зацепления, коэффициент высоты головки зуба колеса, индекс, материал долбяка.

Для нарезания косозубых колес применяют косозубые долбяки (см. рис. 75, *в*), которые характеризуются параметрами прямозубых долбяков и еще углом наклона винтовых линий зубьев по делительному цилиндру. Косозубые долбяки по направлению наклона винтовых линий подразделяются на правые и левые. Для нарезания шевронных колес косозубые долбяки применяются в комплекте—правый и левый.

Вспомогательный инструмент. В большинстве случаев долбяки устанавливают непосредственно на заплечик штосселя и крепят гайкой через шайбу (рис. 77, *б*). Диаметр шайбы должен быть равен диаметру выточки в долбяке на переднем торце. Плоскость шайбы, прилегающая к долбяку, должна быть шлифованной; в том случае, когда заплечик штосселя значительно больше толщины долбяка, то между долбяком и торцом заплечика устанавливают подкладочное кольцо (рис. 77, *а*). В этом случае обе торцовые поверхности кольца должны быть тщательно обработаны и параллельны друг другу.

Если диаметр отверстия долбяка не равен диаметру заплечика штосселя, то применяют переходные втулки (рис. 78, *а*) и переходные оправки (рис. 78, *б*). Посадочные цилиндрические поверхности (отверстие и заплечик) и опорные торцы втулки должны быть выполнены точно: биение диаметров и торцов не должно превышать 0,005÷÷0,01 *мм*. В переходных оправках с одной стороны выполняется отверстие в соответствии с размерами конца штосселя, а с другой — заплечик для посадки долбяка.

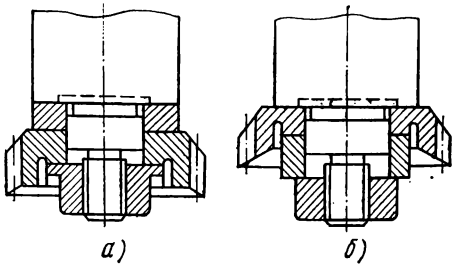


Рис. 77. Крепление долбяка на штосселе

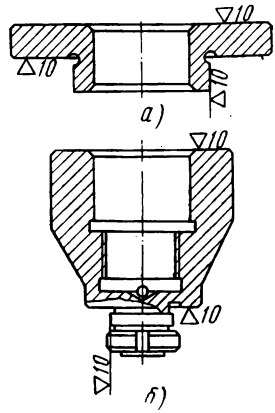


Рис. 78. Вспомогательный инструмент для крепления долбяков

§ 31. НАЛАДКА СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Расчеты при наладке

Расчет числа двойных ходов долбяка. Движение долбяка сверху вниз и обратно называется *двойным ходом*. Число двойных ходов зависит от длины L хода долбяка и назначаемой средней скорости резания v, *м/мин*. Скорость резания выбирается в зависимости от материала заготовки и модуля нарезаемых зубьев, а также от глубины резания и величины окружной подачи. Длина хода долбяка L должна быть больше ширины зубчатого венца на двойную величину перебега $2y$, тогда $L=b+2y$. Число двойных ходов в минуту определяется по формуле

$$n = \frac{1000\,v}{2L},$$

или

$$n = \frac{500v}{L}.$$

По числу n выбирают ближайшее число двойных ходов (*125*; *172*; *253*; *359*) и перемещают блок коробки скоростей для получения выбранного числа. Для определения числа двойных ходов можно пользоваться диаграммой (рис. 79). При данной длине хода и скорости резания на пересечении горизонтальной и вертикальной линий диаграммы выбирают ближайшую линию, соответствующую числу двойных ходов.

В зависимости от ширины b венца нарезаемого колеса принимается величина перебега $2y$.

b, *мм*	25	50	75	100	125
$2y$, *мм*	4,8	8,8	12	15,5	19

Расчет сменных зубчатых колес для изменения круговой подачи. Подача s_t выражается длиной дуги в *мм* делительной окружности долбяка, на которую повернется долбяк за один двойной ход. Величина подачи выбирается в зависимости от обрабатываемого металла, величины модуля и требуемой степени точности обработки и чистоты поверхности. Подача при черновом нарезании заготовок из стали

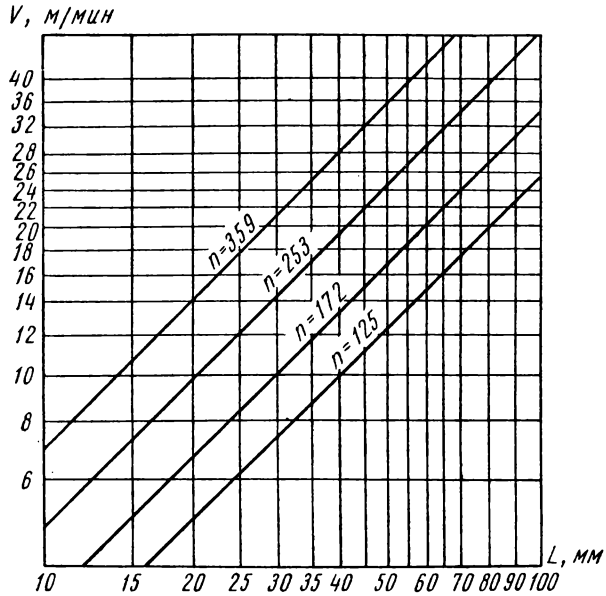


Рис. 79. Диаграмма для определения числа двойных ходов долбяка

принимается от 0,2 до 0,5 *мм*; при чистовом нарезании — от 0,15 до 0,3 *мм* на один двойной ход. Для получения назначаемой величины подачи рассчитываются сменные колеса подачи x_t следующим образом.

Число n оборотов вала *II* равно числу двойных ходов в минуту (см. рис. 71), так как за каждый оборот этого вала совершается один двойной ход. Число оборотов штосселя *T* за то же время обозначим $n_т$. Отношение числа оборотов штосселя и вала *II* по кинематической цепи *II* равно:

$$\frac{n_т}{n} = \frac{28}{28} \cdot \frac{3}{23} \cdot \frac{28}{42} x_t \frac{1}{100}; \quad \frac{n_т}{n} = \frac{x_t}{1150}$$

За один двойной ход при $n_1 = 1$ число оборотов штосселя будет:

$$n_{т_1} = \frac{x_t}{1150}.$$

Подача за один двойной ход равна длине окружности долбяка, умноженной на число оборотов штосселя, соответствующее одному двойному ходу

$$s_t = \pi d_д n_{T_1}.$$

По этой формуле находим число оборотов штосселя за один двойной ход в зависимости от подачи

$$n_{T_1} = \frac{s_t}{\pi d_д}.$$

Сравнивая значения n_{T_1}, получим

$$\frac{x_t}{1150} = \frac{s_t}{\pi d_д},$$

и из этого равенства находим необходимое отношение сменных колес подачи

$$x_t = \frac{1150\, s_t}{\pi d_д},$$

или

$$x_t = \frac{a_1}{b_1} = \frac{366\, s_t}{d_д}.$$

Имеющийся при станке комплект сменных колес позволяет получить следующие шесть величин круговых подач, рассчитанных при диаметре долбяка, равном 100 *мм* (табл. 5).

Таблица 5

Круговые подачи сменных зубчатых колес

Подача s_t, *мм*	0,44	0,35	0,3	0,24	0,21	0,17
Колесо a_1	55	50	47	42	39	34
Колесо b_1	34	39	42	47	50	55

При диаметрах долбяка, не равных 100 *мм*, величины указанных подач надо разделить на 100 и умножить на диаметр долбяка.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления. Вращение стола с заготовкой и долбяка связано кинематической цепью *III* (см. рис. 71, 72). Отношение чисел оборотов по этой цепи равно:

$$\frac{n_з}{n_д} = \frac{100}{1} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{30}{30} x_л \frac{1}{240};$$

$$\frac{n_з}{n_д} = \frac{10 x_л}{24}$$

Нарезаемое колесо и долбяк находятся в зацеплении, как два зубчатых колеса и отношение их чисел оборотов составляет:

$$\frac{n_з}{n_д} = \frac{z_д}{z}.$$

Сравнивая значения этих отношений, получим

$$\frac{10x_л}{24} = \frac{z_д}{z},$$

откуда

$$x_л = 2{,}4\frac{z_д}{z},$$

тогда формула расчета сменных колес гитары деления будет:

$$x_л = \frac{a \cdot c}{в \cdot d} = 2{,}4\frac{z_д}{z}.$$

Расчет сменных зубчатых колес гитары радиальной подачи. Радиальная подача $s_р$ рассчитывается как перемещение суппорта за один двойной ход долбяка и выражается в миллиметрах. Величина подачи выбирается в зависимости от обрабатываемого материала и модуля нарезаемых зубьев и осуществляется перемещением ролика r_1 (см. рис. 71) вместе с винтом *XIV* при помощи кулачка K_1. Скорость вращения кулачка, а следовательно, и величина радиальной подачи изменяются при помощи сменных зубчатых колес гитары радиальной подачи. Величины подач при разных сменных колесах из набора, имеющегося на станке, имеют значения, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Величины подач сменных зубчатых колес

Подача $s_р$, *мм*	0,024	0,048	0,095
Колесо a_2	25	40	50
Колесо b_2	50	40	25

Пример расчета наладки. Нарезать прямозубое цилиндрическое колесо: модуль — $m=4$; угол зацепления — $\alpha_0=20°$; число зубьев — $z=49$; ширина венца — $b=50$; материал — сталь 45; число зубьев долбяка — $z_д=25$; диаметр долбяка — $d_д=100$.

Окружную подачу и скорость резания выбирают по нормативам: $s=0{,}23$; $v=25$ *м/мин*.

1. Длина хода долбяка

$$L = b + 2y = 50 + 8{,}8 = 58{,}8 \text{ мм}$$

Число двойных ходов:

$$n = \frac{1000v}{2L} = \frac{1000 \cdot 25}{2 \cdot 58,8} = 212,58 \text{ ход/мин},$$

принимаем ближайшее $n=253$.

2. Сменные зубчатые колеса круговой подачи:

$$x_t = \frac{a_1}{b_1} = \frac{366}{d_д} \cdot s = \frac{366}{100} \cdot 0,23 \approx 0,84 = \frac{42}{50}.$$

Сменные колеса из имеющегося на станке комплекта при ближайшей подаче 0,24, согласно таблице, будут:

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{42}{47}.$$

3. Сменные зубчатые колеса гитары деления:

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{2,4z_д}{z} = \frac{2,4 \cdot 25}{49} = \frac{24 \cdot 25}{10 \cdot 49}.$$

Не изменяя величины отношения, подбираем числа зубьев колес из набора, имеющегося при станке:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24 \cdot 25 \cdot 6}{10 \cdot 49 \cdot 6} = \frac{72 \cdot 50}{70 \cdot 42}.$$

Наладка станка для нарезания зубчатых колес с наружными зубьями

Установка сменных зубчатых колес. Сменные колеса для изменения круговой подачи, гитар деления и радиальной подачи устанавливают на валах в порядке их буквенного обозначения по направлению передачи движения. В гитаре радиальной подачи для соединения сменных зубчатых колес устанавливают на пальце паразитное колесо.

Установка и проверка приспособления и заготовки. Приспособление устанавливают на оправку с обратным конусом, которая вставляется в шпиндель станка снизу через окно в столе. Оправку проверяют на радиальное биение и на параллельность перемещению штосселя сверху вниз. Проверку параллельности производят в двух плоскостях: параллельной и перпендикулярной направляющим суппорта. Допустимое радиальное биение и непараллельность не должны превышать 0,015÷0,02 *мм*.

Заготовка опирается на подкладочное кольцо, центрируется относительно оси стола оправкой, закрепляется гайкой через шайбу и проверяется на биение относительно оси стола; допустимое биение не должно превышать 0,02÷0,06 *мм*, в зависимости от величины модуля и заданной степени точности колес.

Установка долбяка. Долбяк устанавливают на штоссель режущими кромками вниз (см. рис. 77) в направлении рабочего хода. Можно

производить зубодолбление и при рабочем ходе вверх с установкой долбяка режущими кромками также вверх, но этот способ имеет ограниченное применение. Перед установкой долбяка тщательно протирают отверстие и опорный торец его, посадочное место штосселя и посадочные места переходного кольца или переходной оправки, если их применяют, после чего долбяк надевают на заплечик и закрепляют гайкой с шайбой.

Настройка длины хода долбяка. Длина хода долбяка зависит от положения пальца *3* на кривошипном диске *1* (рис. 80 и 71, диск *Д*).

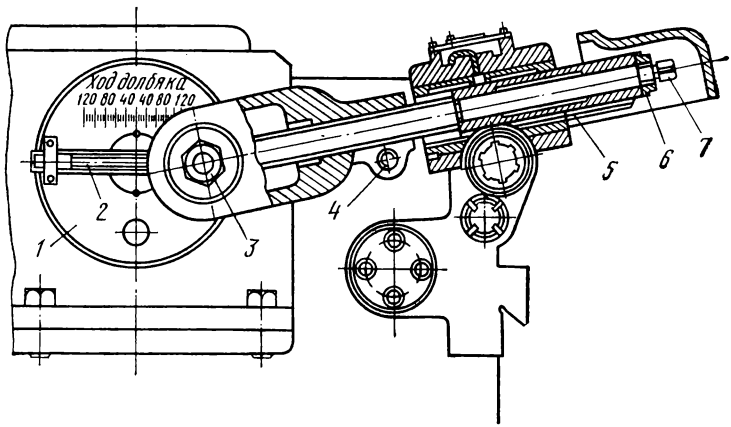


Рис. 80. Механизм для установки долбяка относительно заготовки

Палец кривошипа перемещается вдоль диаметральных направляющих диска при вращении винта *2*. Длина хода устанавливается по шкале, нанесенной на кривошипном диске, цифры которой указывают длину хода.

Настройка долбяка для перемещения относительно торцов зубчатого венца заготовки. Для обеспечения одинакового выхода долбяка на величину y по обе стороны венца производится регулирование его верхнего и нижнего положения. Для этого надо освободить гайку *6* и винт *4*, зажимающий резьбу винта *7*, и вращать винт *7*, который будет ввинчиваться в резьбу вилки и перемещаться вместе с рейкой *5* (см. рис. 80). При перемещении рейки вращается зубчатое колесо *26*, вал *III* и зубчатое колесо *26*, находящееся в зацеплении с рейкой F_2 ползуна *Е* (см. рис. 71). Ползун перемещается, не меняя положения кривошипного диска, и устанавливает долбяк по вертикали относительно заготовки так, чтобы выход по обе стороны торцов был одинаков. После регулировки гайку *6* и винт *4* (см. рис. 80) необходимо вновь затянуть.

Установка долбяка на глубину врезания. В зависимости от выбранного числа проходов вначале устанавливают кулачок K_1, а затем ры-

чагом *12* (см. рис. 70, 71) выключают муфту M_2 и вращением рукоятки, надетой на квадрат *13*, поворачивают кулачок до тех пор, пока ролик r_1 не займет положение на профиле кулачка, выполненном по окружности, близкое к выемке. После этого вращением квадрата *2* подводят суппорт к заготовке до легкого соприкосновения с ней долбяка. При этом середина толщины зуба долбяка должна находиться на линии, соединяющей центры заготовки и долбяка.

Далее при помощи квадрата *13* поворачивают кулачок так, чтобы ролик соскочил во впадину. При этом суппорт отодвигается на глубину впадины кулачка. Затем устанавливают круговую шкалу лимба *3* на нуль (лимб расположен на одной оси с квадратом *2*) и вращением квадрата *2* перемещают суппорт к заготовке на полную высоту нарезаемых зубьев.

Отсчет перемещения производится по лимбу, одно деление которого соответствует перемещению на 0,02 *мм*, а один поворот перемещает суппорт на 3 *мм*. Затем устанавливают упор *10* для подвода долбяка при нарезании следующих заготовок. После врезания и прохода долбяком нескольких зубьев проверяется их толщина и, при необходимости, высота зубьев, установленная по лимбу, корректируется. Если зубья получились толще, то глубину прорезания увеличивают.

Наладка станка для нарезания зубчатых колес с внутренними зубьями

При нарезании колеса с внутренними зубьями по принципу обкатки долбяк входит в зацепление с колесом, как зубчатая пара внутреннего зацепления. В этом случае долбяк и нарезаемое колесо должны вращаться в одну сторону. Для этого в гитару деления, кроме рассчитанных сменных колес, надо установить паразитное колесо; в результате при том же вращении долбяка изменится вращение стола.

В остальном наладка станка не отличается от наладки при нарезании колес с наружными зубьями.

Наладка станка для нарезания зубчатых колес с косыми зубьями

Для нарезания колес с косыми зубьями необходимы специальные долбяки (см. рис. 75, *в*). Угол наклона зубьев долбяка должен равняться углу наклона зубьев нарезаемого колеса. Для нарезания колес с наружными зубьями направление наклона зубьев долбяка и колеса должно быть противоположное: для правого колеса требуется левый долбяк, для левого колеса — правый. Для нарезания колес с внутренними зубьями применяют долбяки с одноименным направлением зубьев: правое колесо нарезается правым долбяком, левое — левым.

В процессе нарезания косозубых колес зубья долбяка должны проходить вдоль винтовых нарезаемых зубьев. Для этого, кроме движений, которые имеет долбяк при нарезании прямых зубьев (возвратно-поступательного и вращения при обкатке), ему сообщается до-

полнительное вращение, согласованное с поступательным движением, а именно: при движении вниз долбяк должен поворачиваться в одну сторону, а при движении вверх — в другую. Это вращение в одну и другую сторону осуществляется при помощи специальных винтовых направляющих (копиров) *в* и *г*, которые устанавливаются взамен прямолинейных копиров *а* и *б* на штосселе и во втулке червячного колеса (рис. 81). Один копир *b* с винтовыми направляющими закрепляется на штосселе и движется вместе с ним; другой *g* вставляется во втулку червячного колеса и тоже закрепляется в ней. При поступательном движении штосселя винтовые направляющие копиров скользят друг по другу, и штосель поворачивается относительно втулки червячного колеса *100* (см. рис. 71). Таким образом осуществляется согласованное поступательное и дополнительное вращательное движение штосселя в одну и другую стороны. В зависимости от направления зубьев долбяка винтовые направляющие применяются правозаходные или левозаходные.

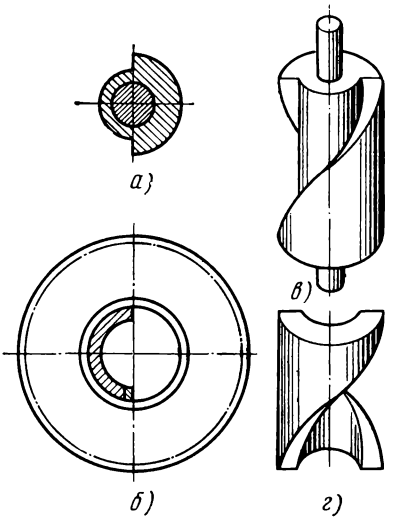


Рис. 81. Направляющие штосселя: *а* — прямолинейная на штосселе, *б* — прямолинейная на червячном колесе, *в* — винтовая на штосселе, *г* — винтовая в червячном колесе

После установки винтовых направляющих и долбяка наладку станка выполняют так же, как и для нарезания прямозубых колес с наружными или внутренними зубьями.

Измерение внутренних зубьев колеса

Измерение внутренних зубьев колес как прямых, так и косых, производят тем же инструментом, что и измерение наружных зубьев. Толщину измеряют по хорде предельными скобами или универсальными зубомерами. Длину общей нормали измеряют предельным или индикаторным штихмасом (рис. 82), губки которого соприкасаются с во-

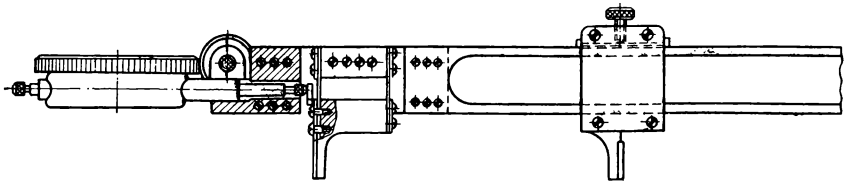


Рис. 82. Индикаторный штихмасс

гнутыми разноименными боковыми профилями зубьев. Проверку на биение зубьев по делительной окружности можно производить в центрах в специальном приспособлении, центрирующем венец относительно его оси.

Дефекты профиля зубьев при нарезании на зубодолбежных станках

Колеса, нарезаемые на зубодолбежных станках, имеют дефекты профиля в основном такие же, как и колеса, нарезаемые на зубофрезерных станках (см. § 26). Однако причины возникновения дефектов зависят от условий нарезания зубьев на зубодолбежных станках.

Большая разность окружного шага или большая накопленная погрешность его может возникнуть по причинам, рассмотренным при зубофрезеровании на фрезерных станках, а также в результате недостаточной затяжки гайки, закрепляющей долбяк на штосселе, неравномерного окружного шага долбяка, неточности червячных пар, вращающих стол и штоссель.

Отклонение основного шага от теоретического одинаковое по всем зубьям в одну и ту же сторону появляется из-за неправильной коррекции угла зацепления долбяка при его изготовлении или неправильного угла заточки долбяка по передней режущей поверхности.

Отклонение основного шага, неодинаковое для разных зубьев венца колеса, вызывается теми же причинами, что и разность окружного шага.

Отклонение эвольвенты зубьев колеса от теоретической (см. рис. 62, *а*) зависит от отклонения основного шага, а неправильная эвольвента (см. рис. 62, *б*) получается при неправильной эвольвенте зубьев долбяка или в результате плохого состояния механизма станка, не обеспечивающего плавность работы червячных пар стола и долбяка (механизм работает рывками).

Неравномерная толщина зубьев появляется при плохом состоянии станка: конусность может возникнуть при непараллельности оправки, на которой устанавливается заготовка, к направлению хода штосселя; овальность и корсетность — при выработке направляющих штосселя.

ГЛАВА VI

НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС НА ЗУБОСТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ

§ 32. ОБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ

Зубчатые конические колеса нарезают на зубострогальных станках резцами по методу обкатки.

Прежде чем разбирать процесс нарезания, рассмотрим зацепление конического колеса с плосковершинным производящим колесом. Это колесо имеет конические зубья, расположенные в плоскости торца. Профили зубьев его имеют форму равнобокой трапеции, как у зубчатой рейки (рис. 83, *а*). Если производящее колесо *1* ввести в зацепление с коническим колесом *2* (рис. 83, *б*) и сообщить им вращательное движение вокруг осей, то получим зацепление, аналогичное зацеплению цилиндрического колеса с рейкой: зубья плосковершинного колеса с прямолинейным профилем будут обкатывать эвольвентные профили зубьев конического колеса.

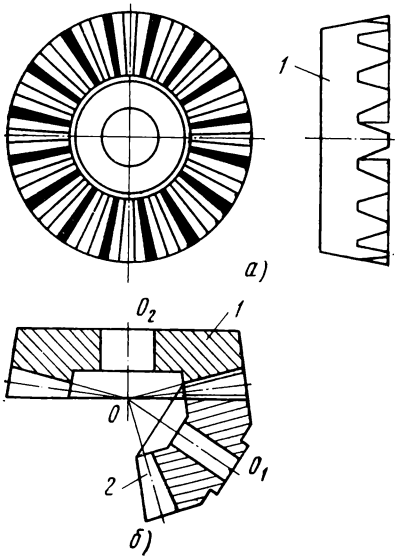


Рис. 83. Зацепление производящего колеса с коническим:
1 — производящее колесо, *2* — коническое колесо

Конические колеса нарезают по принципу зацепления конического колеса с производящим. На рис. 84 изображена схема нарезания конического колеса на станке по методу обкатки. Вокруг оси OO_2 поворачивается попеременно то в одну, то в другую сторону (качается) барабан *4*, называемый люлькой, а вокруг оси OO_1 также в обе стороны вращается нарезаемое коническое колесо *2*.

Если на барабане закрепить производящее колесо *1* и ввести с ним в зацепление коническое колесо *2*, то зубья их при зацеплении будут обкатываться, как описано выше. Но так как коническое колесо еще не имеет зубьев, это только заготовка, то и плоского колеса на люльке не имеется, оно подразумевается для объяснения зацепления; вместо него имеется люлька и резцы *5* с такими же профилями, как и зубья плоского колеса. Резцы устанавливаются на торцовой плоскости люльки, поворачиваются вместе с ней вокруг ее оси так, как вращалось бы производящее колесо, и, одновременно, возвратно-поступательно перемещаются по торцу люльки от ее наружного диаметра к центру и

обратно. Таким образом, два резца как бы образуют профиль впадины двух зубьев производящего колеса. При поступательном движении они прорезают зубья конического колеса, а одновременное вращение их вокруг оси люльки выполняет обкатку зубьев. Таким образом, резцы с прямолинейными профилями формируют эвольвентные профили нарезаемых зубьев.

Для осуществления обкатки вращение люльки согласовывается с вращением заготовки и происходит так же, как происходило бы вращение производящего колеса в зацеплении с нарезаемым. Такая согласованность вращения достигается при помощи механизма станка со сменными колесами *3* (рис. 84), которые рассчитывают в зависимости от числа зубьев нарезаемых колес.

Последовательное положение резцов относительно зубьев заготовки при обкатке изображено на рис. 85. Заготовка вращается против часовой стрелки (если смотреть со стороны большого торца), а люлька соответственно вращению заготовки, как сопрягаемое колесо, вра-

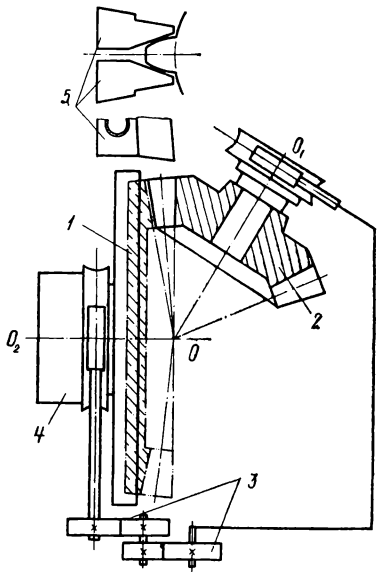


Рис. 84. Принципиальная схема нарезания конических прямозубых колес на станке по методу обкатки:

1 — производящее колесо, *2* — нарезаемое коническое колесо, *3* — сменные колеса, *4* — люлька, *5* — резцы

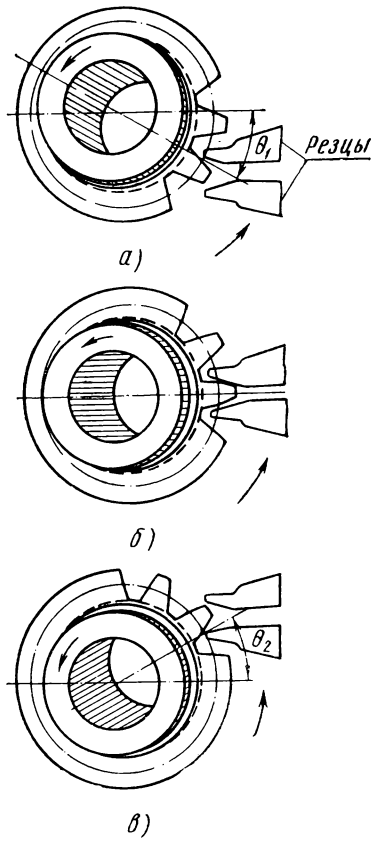


Рис. 85. Последовательное положение резцов относительно зубьев нарезаемого колеса при нарезании методом обкатки:

а — ниже центра, *б* — по центру, *в* — выше центра станка

щается против часовой стрелки (если смотреть на ее переднюю плоскость со стороны заготовки), и резцы перемещаются относительно оси заготовки снизу вверх, как указано стрелками, пока не выйдут из зацепления. Когда люлька начнет вращаться в другую сторону (по часовой стрелке), то и заготовка станет вращаться в другую сторону, и резцы будут перемещаться сверху вниз.

Для нарезания зубьев на всю высоту резцы должны врезаться в заготовку на глубину впадины, пока вершины их не станут двигаться по образующей внутреннего конуса нарезаемого колеса.

Возвратно-поступательное движение резцов, в результате которого осуществляется резание,— это главное движение; вращение люльки и заготовки — это движение обкатки. Кроме того, станок должен иметь еще два движения, обеспечивающие перемещение заготовки к резцам и отвод их назад, и периодический поворот заготовки для нарезания следующего зуба; такой поворот называется делением.

Правильное нарезание зубьев колеса определяется установкой заготовки относительно центра станка *O*. Центром станка называется точка, в которой пересекается три оси (см. рис. 84): горизонтальная ось OO_2 люльки; горизонтальная ось OO_1 шпинделя бабки изделия и вертикальная ось *O*, вокруг которой поворачивается поворотный стол вместе с заготовкой. При перемещении вертикальной оси *O* вдоль станка центр станка перемещается вдоль горизонтальной оси. С центром станка должна совпадать вершина начального конуса заготовки и через него проходит плоскость, в которой движутся резцы.

§ 33. ЗУБОСТРОГАЛЬНЫЙ СТАНОК 526

Устройство станка

Зубострогальный станок модели 526 (рис. 86) предназначен для чернового и чистового нарезания прямозубых конических колес.

Станок имеет основание *11* с углублением для предохранения от разбрызгивания масла и охлаждающей жидкости. Станина *13* закреплена на основании. На станине слева находится корпус, в котором вращается люлька *3*. На передней плоскости люльки смонтированы поворотные сегменты, направляющие которых устанавливаются на угол движения резцов. По направляющим сегментов движутся ползуны с резцовыми суппортами *4*. Справа на станине установлен продольный стол *9*, перемещающийся по направляющим станины к люльке и обратно посредством маховика *12* до закрепления стола в нужном положении рукояткой *7*. Продольный стол сверху имеет круговые направляющие, на которых установлен поворотный стол *8*. Стол *8* поворачивается вокруг вертикальной оси *O* (см. рис. 84), определяющей центр станка, и устанавливается на угол внутреннего конуса нарезаемого колеса. На этом столе (см. рис. 86) установлена бабка *6* для крепления заготовки. Бабку можно перемещать по верхним направляющим поворотного стола и устанавливать на необходимом расстоянии от центра станка. Бабка имеет

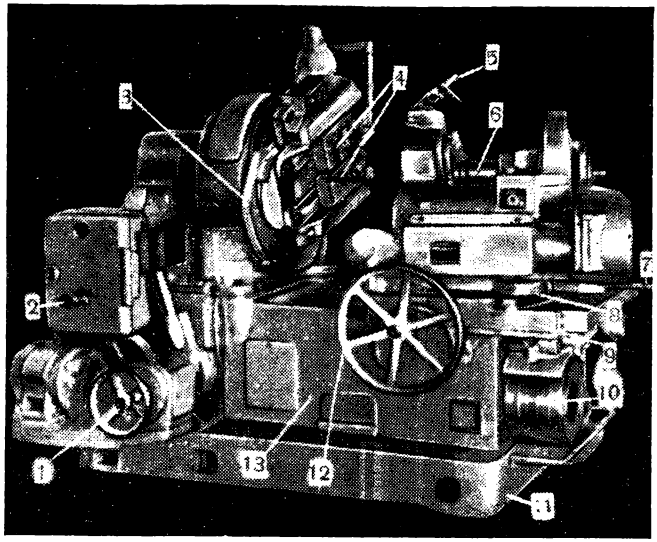


Рис. 86 Общий вид зубострогального станка модели 526

шпиндель *5* с коническим гнездом, в котором крепится оправка с заготовкой. У правого торца станины находится барабан подач *10*. Электродвигатель станка расположен в нижней части станины и приводится в движение пусковым выключателем *2*. Поворачивание механизма станка вручную осуществляется маховичком *1*.

Смазка станка централизованная от электронасоса, расположенного в нижней части станины; здесь же находится электронасос для подачи охлаждающей жидкости к резцам.

Подробно остановимся на устройстве одного из суппортов (рис. 87). Основная плита *1* суппорта крепится болтами *6* к ползуну *11*. В плите установлена откидная державка *2*, правый конец которой закреплен на оси *3*, а левый посредством рычага *13* связан с бруском *14*. Брусок при движении ползунов перемещается относительно их и качает рычажок *13*, который поворачивает откидную державку вокруг оси *3*. При движении вперед, во время рабочего положения, державка с резцами выдвигается вперед от плоскости плиты и упирается в накладку *12* и в таком положении находится до тех пор, пока не закончится ход резцов вперед. При движении резцов назад, во время холостого хода, державка с резцами поворачивается в направлении к плите и отводит резцы от нарезаемых поверхностей зубьев.

К откидной державке двумя болтами *4* крепится разцедержатель *5*, устанавливаемый по высоте посредством винта *10*. К резцедержателю двумя винтами *7*, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия резца, притягивается резец *9*. Отверстия для винтов в резцедержателе сделаны овальными, а резцы снабжены пятью резьбовыми отверстиями,

что дает возможность переставлять резцы при износе и регулировать положение их вдоль разцедержателя. Плоскость разцедержателя, на которую устанавливается резец, наклонена под углом 12° к линии движения вершины резца при его работе. Резец опирается на клин *8*; перемещением клина можно изменять угол зацепления нарезаемого колеса.

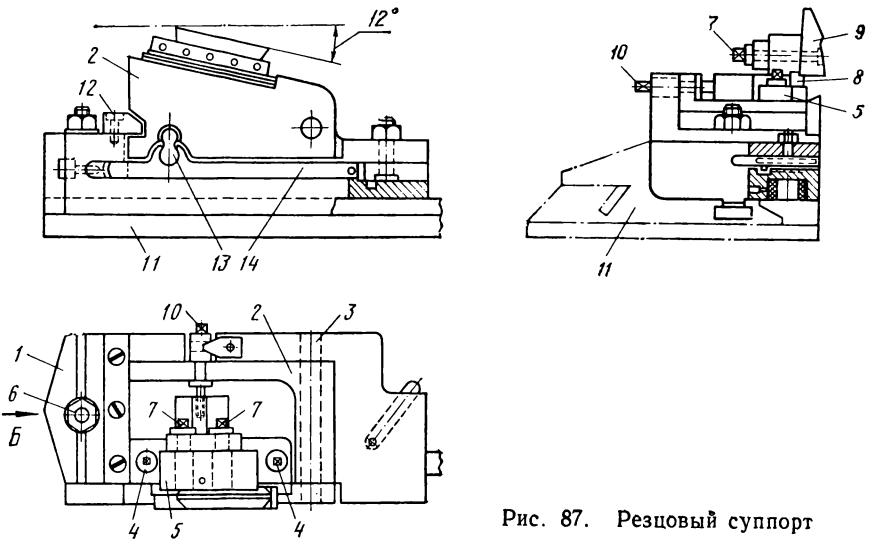


Рис. 87. Резцовый суппорт

Работа на станке

Заготовку устанавливают на оправку или во втулку, вставленную в шпиндель, затягивают сзади затяжным болтом или прижимают к торцу оправки при помощи гайки, подводят к резцам вручную. Пуск станка после установки заготовки и включения станка в электросеть производится нажатием пусковой кнопки. Останавливается станок после нарезания колеса автоматически конечным выключателем, расположенным сзади шпинделя бабки.

На станке выполняют черновую прорезку зубьев и чистовую обработку их. Черновая прорезка происходит без обкатки, люлька и заготовка при резании не вращаются, только движутся возвратно-поступательно резцы, а заготовка постепенно подается к резцам на необходимую глубину прорезания впадин. За один цикл при черновом нарезании выполняются следующие движения: 1) подвод стола в рабочее положение; 2) постепенная подача стола с бабкой и закрепленной в ней заготовкой до прорезания необходимой глубины впадины; 3) быстрый отвод стола; 4) поворот заготовки на следующий зуб — деление. Черновое нарезание за один цикл может осуществляться двумя способами: при первом способе две впадины нарезаются одновремен-

но: каждая одним из двух резцов с делением через два зуба; при втором способе каждая впадина нарезается одним и вторым резцом с делением через один зуб.

Чистовое нарезание производится после чернового при новой установке заготовки и новой наладке станка. Рабочий цикл имеет следующие движения: 1) подвод стола с бабкой и закрепленной в ней заготовки в рабочее положение, когда резцы заходят во впадину почти на всю глубину; 2) рабочая обкатка (первый проход), когда люлька вращается по часовой стрелке и резцы обкатывают зуб сверху вниз; 3) дополнительный подвод стола на 0,5—0,8 *мм* на глубину резания при втором проходе; 4) рабочая обкатка (второй проход), когда люлька вращается против часовой стрелки и резцы обкатывают зуб снизу вверх; 5) быстрый отвод стола и 6) поворот заготовки на следующий зуб — деление.

При работе на станке, наладке и уходе за ним, кроме общих правил техники безопасности, необходимо соблюдать также и ряд других предосторожностей, а именно: наладка и проверка всех узлов станка должна выполняться при выключенном электродвигателе общим выключателем, а не кнопкой. При установке резцедержателей, резцов, регулировке их, установке длины хода ползунов, роликов барабана подачи, люльки на угол качания, сменных колес и при перемещении каких-либо узлов станка, т. е. когда требуется вращать его механизм, выполняют эту операцию вручную при помощи маховичка. После наладки и регулирования устанавливаемых узлов надо провернуть станок вручную, и только убедившись, что все части перемещаются нормально, можно включать станок от электродвигателя. При проверке правильности набора сменных колес гитар деления и обкатки, делении припуска по резцам, т. е. во всех случаях, когда приходится близко наклоняться к движущимся резцам и к заготовке, надо быть осторожным и помнить об опасности захвата движущимися частями.

Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка приведена на рис. 88, а структурная — на рис. 89. От электродвигателя *Э* станка с числом оборотов 1420 *об/мин* движение по следующим кинематическим цепям передается к отдельным частям его (ползунам с резцами, заготовке, люльке, барабану подачи).

I. Движение ползунов: электродвигатель — ползуны E_1, E_2.
II. Подача (вращение барабана *A*).
III. Качание люльки: вал *VII* — люлька.
IV. Обкатка: люлька — заготовка.
V. Деление: вал *XV* — заготовка.

Рассмотрим подробно каждую кинематическую цепь.

Цепь I. Возвратно-поступательное движение ползунов. От электродвигателя движение передается через коническую передачу *15* : *43* валу *I*. На этом валу насажен маховичок для ручного вращения, соединяющийся с валом при помощи односто-

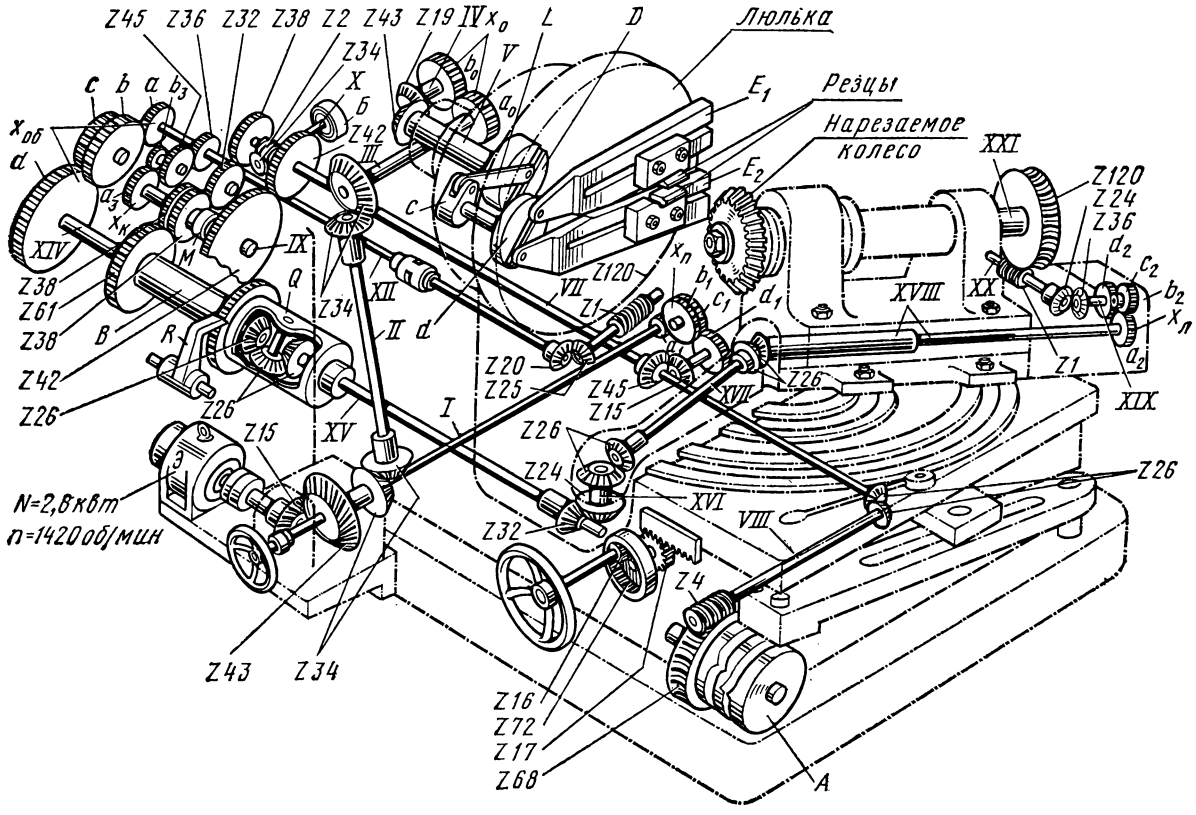


Рис. 88. Кинематическая схема зубострогального станка 526

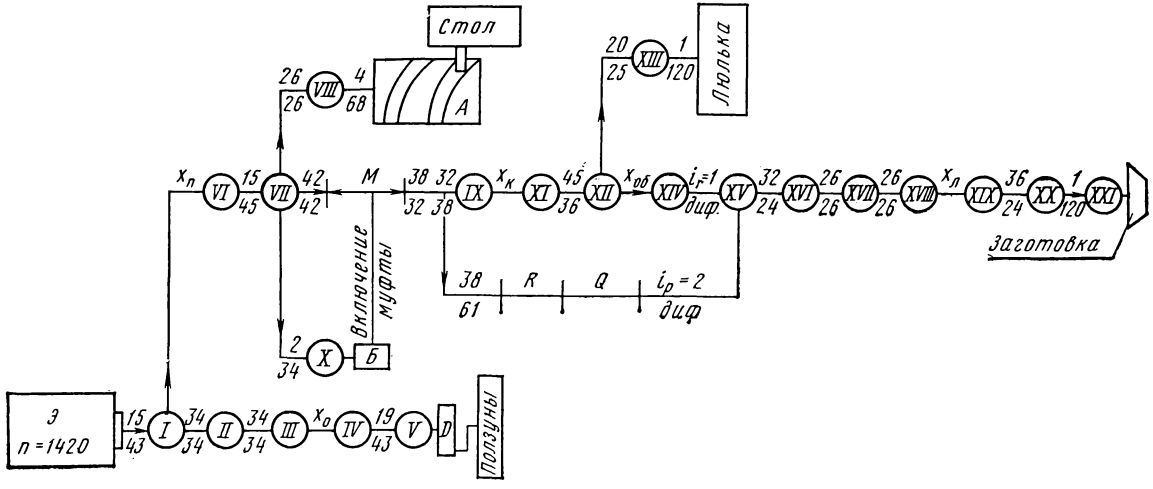


Рис. 89. Структурная схема зубострогального станка 526

ронней муфты, которая включается только при вращении в одном направлении и автоматически выключается при включении электродвигателя. Дальше движение передается по цепи, согласно структурной схеме, через сменные зубчатые колеса x_0, через вал *IV* и коническую передачу *19* : *43* получает вращение центральный вал *V* люльки с кривошипным диском *D*. В радиальном пазу этого диска помещен кривошипный палец, соединенный с шатуном *L*. Шатун соединен с серьгой *C*, закрепленной на валике. Валик имеет на другом конце диск *d* с двумя сухарями и может качаться вокруг своей оси; сухари соединены с ползунами E_1 и E_2, которые при качании диска *d* получают возвратно-поступательное перемещение по направляющим сегментов люльки.

Для изменения длины хода ползунов переставляется кривошипный палец в диаметральном пазу диска *D*, вследствие чего изменяется радиус вращения этого пальца вокруг вала *V*, изменяется угол поворота диска *d* и изменяется ход ползунов.

Цепь II. Подача (вращение барабана *A* подач). Величина подачи определяется временем *t* одного оборота барабана. Вращение барабану передается от вала *I* через сменные колеса гитары подач $x_п$ по кинематической цепи, согласно структурной схеме, к червячной паре *4* : *68*, колесо которой скреплено с барабаном и вращает его. Один оборот барабана подач соответствует одному циклу, т. е. за один оборот барабана обрабатывается один зуб. Барабан имеет две канавки (рис. 90): *I*, расположенная ближе к торцу барабана, для подачи при черновом нарезании зубьев и *II* для подачи при чистовой обработке. В каждую канавку поочередно, в зависимости от вида обработки, может заходить один из двух роликов *1* или *2*. Ролики между собой сблокированы: при опускании одного, второй поднимается. При вращении барабана его криволинейная канавка перемещает ролик, который поворачивает вокруг оси *OO* рычаг *3*, соединенный с продольным столом рукояткой *7*; при повороте рычага стол получает продольный ход. Величина хода стола устанавливается перемещением гайки *5* при помощи винта *4*. Если гайку передвинуть ближе к оси *OO*, величина хода стола уменьшится; при перемещении гайки в обратном направлении — увеличится.

Канавка *I* для черновой прорезки зубьев перемещает стол постепенно, пока резцы не прорежут впадины между зубьями на всю глубину, после чего стол быстро отводится назад. Канавка *II* для чистовой обработки имеет другую форму и производит быструю подачу стола к резцам, но не на полную глубину; при неподвижном столе происходит обкатывание зубьев сверху вниз (люлька вращается по часовой стрелке), когда люлька придёт в нижнее положение, барабан быстро подает стол еще на 0,5÷0,8 *мм* до упора. Направление вращения люльки и заготовки меняется реверсивным механизмом, и резцы обкатывают зубья снизу вверх. Стол во время обкатывания опять стоит неподвижно, при этом происходит окончательная зачистка зубьев. После окончания обработки барабан быстро отводит стол в исходное положение.

При необходимости отвода стола *6* с бабкой дальше от резцов (при смене заготовки, измерении зуба и т. п.) рукоятка *7* освобождает от закрепления стол, и он передвигается маховичком. Маховичок посредством зубчатого колеса *16* (см. рис. 88) вращает колесо *72* с внутренними зубьями, закрепленное на валике, на другом конце которого насажено колесо *17*, зацепляющееся с рейкой, прикрепленной к столу.

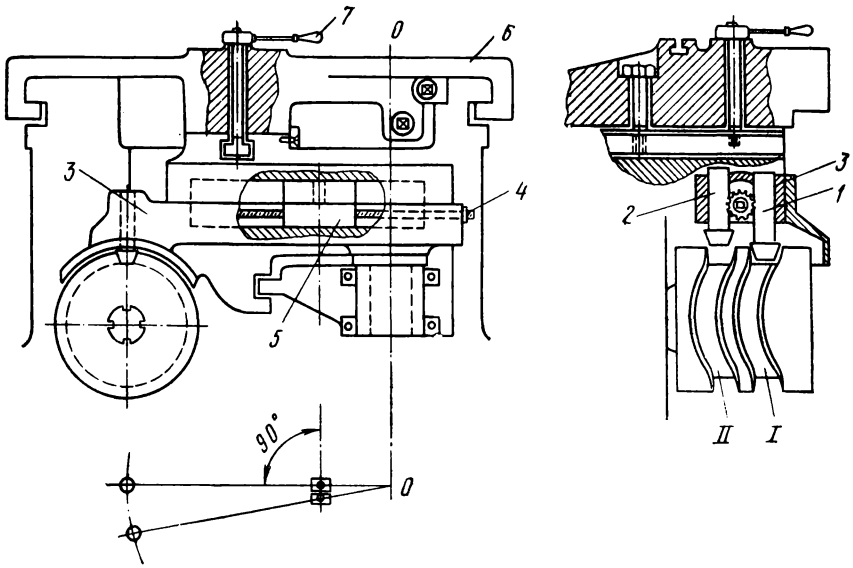


Рис. 90. Механизм подачи продольного стола

При вращении маховичка стол перемещается независимо от барабана подачи.

Цепь III. Качание люльки: вал *VII* — люлька. Движение люльке передается от вала *VII*, входящего в цепь вращения барабана *А* подач. На левом конце этого вала закреплены два зубчатых колеса *42* и *38*, передающие вращение таким же колесам *42* и *38*, насаженным свободно на валу *IX*, причем колеса *42* : *42* находятся в непосредственном зацеплении, а *38* : *38* через паразитное *32*. Вследствие этого колеса *42* и *38* на валу *IX* вращаются в разные стороны. Между колесами *42* и *38* на валу *IX* насажена реверсивная муфта *М*, которая переключается при помощи кулачкового барабана *Б*, получающего вращение от вала *VII* через червячную передачу *2* : *34* и валик *X* (на кинематической схеме связь кулачкового барабана с муфтой *М* не показана). Кулачковый барабан *Б* делает один оборот за один оборот барабана подачи *А*, т. е. за один цикл. В течение первой половины оборота кулачкового барабана муфта *М* включает зубчатые колеса *42* : *42*, а в течение второй половины зубчатые колеса *38* : *38*, при этом вал *IX* вращается то в одну, то в другую сторону. От вала *IX* вращение

передается через сменные колеса качания $x_к$ и передачу *45* : *36* валу *XII* и дальше через коническую зубчатую пару *20* : *25* червяку *1*, находящемуся в зацеплении с сегментом *120*, закрепленным на барабане люльки, которая получает вращение то в одну, то в другую сторону.

Цепь IV. Обкатка: люлька — заготовка. Цепь обкатки связывает вращение люльки с вращением шпинделя бабки с закрепленной в нем заготовкой. Через вал *XII*, сообщающий качание люльке, движение передается через сменные колеса обкатки $x_{об}$ валу *XIV*. Этот вал соединен с валом *XV* дифференциала с передаточным отношением $i_г=1:1$. Дальше от вала *XV* движение передается, согласно структурной схеме, через сменные колеса гитары деления $x_л$ шпинделю бабки. Коническое зубчатое колесо *32* насажено на вал *XV* на длинных шлицах и при перемещении продольного стола передвигается по этому валу, не нарушая зацепления. Ось вала *XVI* совпадает с осью поворотного стола и при перемещении продольного стола вместе с поворотным в конечное положение к люльке определяет центр *O* станка. Вал *XVIII* раздвижной, позволяет перемещать бабку по направляющим поворотного стола, не нарушая зацепления передач.

Цепь V. Деление. Делительный механизм получает движение от зубчатого колеса *38*, скрепленного с другим колесом *38*, сидящим на валу *IX*. Эти колеса постоянно вращаются в одну сторону. Колесо *38* сцепляется с колесом *61*, свободно вращающимся на втулке *B* корпуса *Q* дифференциала, который запирается рычагом *R* и во время работы резцов не вращается.

В соответствующий момент, когда заготовка отодвигается от резцов, делительный механизм (на кинематической схеме не показан) отводит рычаг *R* и корпус дифференциала может вращаться. Одновременно с этим зубчатое колесо *61* сцепляется с втулкой *B* корпуса. Делительный механизм осуществляет вращение корпуса дифференциала на один оборот, после чего втулка *B* корпуса выходит из зацепления с колесом *61*, а рычаг *R* вновь запирает корпус. Так как передаточное отношение дифференциала при этой передаче $i_г=2$, то вал *XV* получает за один оборот корпуса дифференциала два оборота в дополнение к основному вращению. Это дополнительное вращение передается дальше от вала *XV* по кинематической цепи, согласно структурной схеме, через гитару деления $x_л$ шпинделю бабки с заготовкой.

Два дополнительных оборота вала должны соответствовать повороту заготовки на один зуб. Для обеспечения такого соответствия рассчитывают сменные колеса гитары деления $x_л$.

§ 34. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Приспособления

Заготовку в шпинделе бабки обыкновенно устанавливают на оправках (рис. 91). Оправка обеспечивает совпадение геометрической оси нарезаемого колеса с осью вращения шпинделя бабки и вершины начального конуса колеса с центром станка. Поэтому у оправки посадочные

цилиндрические и конические поверхности должны быть концентричны, а опорные торцы перпендикулярны к ее оси.

На рис. 91, *а* изображена стандартная оправка для крепления небольших конических зубчатых колес с отверстием. Оправка имеет конус Морзе № 6, соответствующий конусу гнезда шпинделя станка. Посадочный диаметр *d* выполняют равным диаметру отверстия заготовки или на оправку устанавливают переходную втулку. На бурте оправки нарезана резьба для отжима оправки гайкой при снятии ее со шпинделя. Оправку затягивают с другого конца болтом.

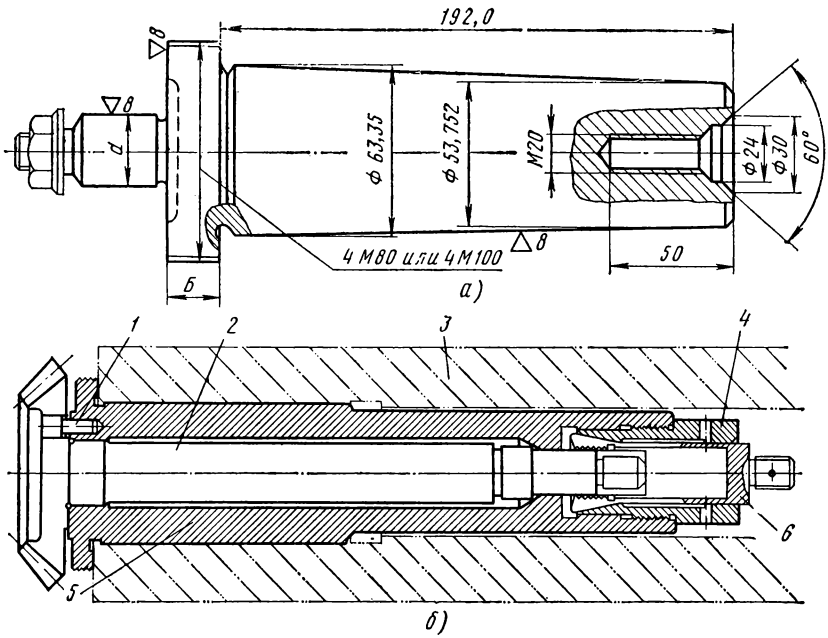


Рис. 91. Оправки для крепления заготовок в шпинделе бабки:
а — стандартная оправка с размерами хвостовика для станка 526, *б* — оправка для крепления шестерни-валика

На рис. 91, *б* показана оправка для крепления заготовки шестерни-валика. Если на конце валика можно нарезать резьбу, то валик крепят с помощью резьбовой переходной втулки, в которую ввинчивается затяжной болт. Если же на конце валика резьбу нарезать нельзя, то крепление производится при помощи патрона и цанги. Патрон *4* со вставленной в него цангой *6* ввинчивается в оправку *5*, затем оправку вставляют в шпиндель бабки *3*. На резьбу цанги навинчивают затяжной болт с внутренней резьбой на конце. При перемещении цанги вперед губки ее расходятся. Заготовку *2* вставляют в оправку, центрируют по ней и фиксируют пальцем *1*; хвостовик заготовки заходит в цангу. При затяжке болта цанга оттягивается назад, губки ее сжи-

мают и затягивают заготовку. Для съема нарезанной шестерни-валика затяжной болт отжимают и немного подают вперед, при этом губки цанги расходятся и шестерня освобождается.

Режущий инструмент

Для зубострогания применяют резцы, один из которых изображен на рис. 92, *а*. Для чистового нарезания резцы стандартизованы по ГОСТ 5392—50. Резцы подразделяются на четыре типа, предназначенные для разных моделей станков. Все четыре типа имеют одинаковую форму

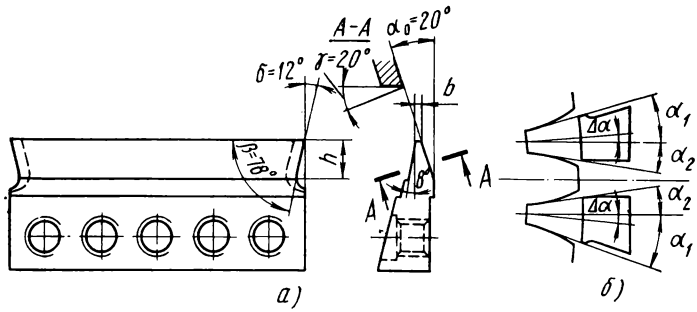


Рис. 92. Зубострогальный резец:
а — размеры резца, *б* — профильные углы резцов при черновом нарезании методом двойного деления

и отличаются только габаритными размерами. Резцы каждого типа, в свою очередь, подразделяются в зависимости от величины модуля и отличаются в основном шириной *b* носика и высотой *h* режущей части профиля. Одним и тем же резцом данного профиля можно нарезать колеса нескольких моделей в небольшом диапазоне. Режущая кромка расположена только с одной стороны и наклонена к линии, перпендикулярной основанию резца под углом зацепления $\alpha_0=20°$.

Резцы не имеют заднего угла заточки, этот угол образуется при установке резца в резцедержатель, который наклонен к линии движения резца под углом $\delta=12°$. Затачивают резцы по передней торцовой поверхности под углом γ в направлении от режущей кромки. Величина этого угла принимается при обработке $20\div25°$; при обработке бронзы рекомендуется уменьшать этот угол до 10°. Режущая кромка должна быть острой и не иметь зазубрин. При заточке резцов надо строго выдерживать направление режущей кромки, чтобы угол между режущей кромкой и линией вершин был равен 78°, так как только при этом угле режущая кромка сформирует правильный профиль зубьев нарезаемого колеса.

Черновые резцы при нарезании методом одиночного деления выполняют с таким же профилем, как и чистовые. Угол заострения принимается немного меньше: $\beta=73—75°$, чтобы образовался угол поднутрения $5°\div3°$.

Для каждого размера колеса, нарезаемого методом двойного деления, черновые резцы имеют специальный профиль (рис. 92, *б*), который зависит не только от угла зацепления, но и от угла начального конуса и количества зубьев нарезаемого колеса. Профильные углы, отсчитываемые от линии, перпендикулярной основанию резца, для одной и другой стороны различны и не равны углу зацепления. Профильный угол со стороны нарезаемого зуба равен $\alpha_2=\alpha_0-\Delta\alpha$, а с другой стороны $\alpha_1=\alpha_0+\Delta\alpha$. Величина поправки:

$$\Delta\alpha = \frac{180 \cos\varphi_i}{z},$$

где φ_i — угол внутреннего конуса нарезаемого колеса.

§ 35. НАЛАДКА СТАНКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

Расчеты при наладке

Расчет двойных ходов. Число двойных ходов зависит от длины хода резцов и величины скорости резания v, *м/мин*.

Величина скорости резания выбирается в зависимости от вида обработки (черновое или чистовое нарезание), от материала заготовки и материала резца. Рекомендуемые скорости резания приведены в руководстве к станку.

Длина хода резцов $l=b+7$ *мм*, где b — длина нарезаемого зуба; величина 7 *мм* — длина перебега резцов на обе стороны при входе и выходе.

Число двойных ходов в минуту определяется по формуле

$$n = \frac{1000v}{2(b+7)}.$$

Расчет сменных зубчатых колес для получения числа двойных ходов. Зубчатые колеса рассчитывают, исходя из условия получения необходимого числа двойных ходов. Число двойных ходов n (см. рис. 88, 89) равно числу оборотов вала V, так как за один оборот этого вала один раз поворачивается кривошипный диск D и ползуны E_1 и E_2 делают один двойной ход. Отношение числа оборотов n вала V к числу оборотов $n_э$ электродвигателя по кинематической цепи I равно:

$$\frac{n}{n_э} = \frac{15 \cdot 34 \cdot 34}{43 \cdot 34 \cdot 34} \cdot x_0 \frac{19}{43};$$

при $n_э=1420$ *об/мин*

$$n = \frac{1420 \cdot 15 \cdot 19}{43 \cdot 43} x_0$$

и передаточное отношение сменных колес:

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{220}.$$

Колеса устанавливают попарно, число зубьев в паре равно $a_0+b_0=$ $=72$. Для выбора числа двойных ходов и сменных колес можно пользоваться таблицей, имеющейся в руководстве к станку. По рассчитанному числу двойных ходов n принимается ближайшее его значение по таблице и соответствующие ему сменные колеса.

Расчет сменных зубчатых колес гитары подач. Величина подачи при зубострогании определяется временем t, *сек* одного рабочего цикла, т. е. временем одного оборота барабана A (см. рис. 88; 89). Время цикла выбирается в зависимости от материала заготовки, числа двойных ходов, величины модуля и вида обработки (черновое нарезание при двойном или одинарном делении, чистовое нарезание). Для выполнения цикла в течение назначенного времени рассчитывают сменные колеса гитары подач $x_п$. Число оборотов $n_б$ барабана A зависит от числа оборотов $n_э$ электродвигателя. Отношение этих чисел оборотов по кинематической цепи II:

$$\frac{n_б}{n_э}=\frac{15}{43}\cdot x_п\cdot\frac{15}{45}\cdot\frac{26}{26}\cdot\frac{4}{68};$$

$$n_б=n_э\frac{5}{731}x_п.$$

За один цикл $n_б=1$, а число оборотов электродвигателя, соответствующее одному циклу за время t, *сек*, будет составлять:

$$n_э=\frac{1420}{60}t=23{,}667\ t.$$

Подставив эти значения, получим

$$1=\frac{23{,}667\ t\cdot 5}{731}\cdot x_п.$$

Из уравнения находим передаточное отношение сменных колес гитары подачи

$$x_п=\frac{a_1\cdot c_1}{b_1\cdot d_1}=\frac{6{,}2}{t}.$$

При выбранном времени продолжительности цикла рассчитывают по этой формуле сменные колеса гитары подачи или же принимают в зависимости от времени t по таблицам, приведенным в руководстве к станку.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления. Сменные зубчатые колеса гитары деления рассчитывают, исходя из условия поворота заготовки при отходе от резцов на один зуб.

При рассмотрении передачи движения по цепи V было отмечено, что вал XV делает два дополнительных оборота, т. е. $n_в=2$, а заготовка поворачивается на один зуб и число оборотов ее:

$$n_з=\frac{1}{z}.$$

Отношение чисел оборотов заготовки и вала XV по кинематической цепи V будет составлять:

$$\frac{n_з}{n_в} = \frac{32}{24} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot x_л \cdot \frac{36}{24} \cdot \frac{1}{120};$$

$$\frac{n_з}{n_в} = \frac{x_л}{60}.$$

Подставив значения $n_з$ и $n_в$, получим

$$\frac{1}{2 \cdot z} = \frac{x_л}{60},$$

тогда формула расчета сменных колес гитары деления будет иметь такой вид:

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{30}{z}.$$

Сменные колеса деления следует рассчитывать точно без округлений полученного передаточного отношения и выбирать из числа имеющихся в наборе при станке. В руководстве к станку обыкновенно дается таблица рассчитанных сменных колес для разных чисел зубьев нарезаемых колес и ею следует пользоваться.

Расчет сменных зубчатых колес гитары обкатки. Вращение люльки и заготовки должно быть согласованным, как при зацеплении нарезаемого колеса с производящим. Исходя из этого условия и рассчитывают сменные колеса гитары обкатки. Передаточное отношение чисел оборотов заготовки и производящего колеса (люльки) составляет:

$$\frac{n_з}{n_л} = \frac{z_с}{z},$$

где $z_с$— число зубьев производящего колеса; z — число зубьев нарезаемого колеса.

Числом зубьев $z_с$ производящего колеса называется фиктивное число зубьев, дающее необходимое отношение между числами оборотов заготовки и люльки при нарезании колеса с числом зубьев z. Число зубьев производящего колеса одно и то же для обоих сопрягаемых колес конической передачи и определяется по формуле

$$z_с = \frac{z_1}{\sin\varphi_1} = \frac{z_2}{\sin\varphi_2},$$

где φ_1 и φ_2— углы делительных конусов колес передачи.

Для колес, оси которых пересекаются под прямым углом (ортогональные передачи), число зубьев производящего колеса для одного и другого нарезаемого колеса передачи находят по формуле

$$z_с = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}.$$

Отношение чисел оборотов шпинделя бабки и люльки по кинематической цепи IV равно:

$$\frac{n_з}{n_л} = \frac{120}{1} \cdot \frac{25}{20} \cdot x_{об} i_r \frac{32}{24} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot x_л \frac{36}{24} \cdot \frac{1}{120};$$

$$\frac{n_з}{n_л} = \frac{5}{2} x_{об} \cdot i_r \cdot x_л.$$

Передаточное отношение дифференциала $i_r = 1$, так как корпус его во время обкатки не вращается; передаточное отношение гитары деления:

$$x_л = \frac{30}{z}.$$

Подставив эти значения, получим

$$\frac{n_з}{n_л} = \frac{75 x_{об}}{z}.$$

Сравнивая отношения чисел оборотов, выраженные по двум зависимостям, получим

$$\frac{z_с}{z} = \frac{75 x_{об}}{z},$$

откуда

$$x_{об} = \frac{z_с}{75}.$$

Заменив значение $z_с$, получим формулу расчета сменных колес гитары обкатки:

$$x_{об} = \frac{z}{75 \sin\varphi},$$

а для колес передачи с осями, пересекающимися под прямым углом:

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{75}.$$

Вычисленное передаточное отношение сменных колес почти всегда выражается числом, не разлагающимся на простые множители, и его заменяют другим числом, совпадающим с вычисленным до четвертого или пятого десятичного знака, которое можно выразить простой дробью. Числитель и знаменатель этой дроби должны разлагаться на множители, из которых можно составить числа зубьев сменных колес, имеющихся в наборе станка (см. указание § 23).

Расчет сменных зубчатых колес для получения угла качания люльки. Для обкатки резцами одного зуба люлька должна повернуться на полный угол качания θ^0. Этот угол состоит из суммы двух углов θ_1^0 —

угла качания ниже нулевого деления шкалы установки люльки, когда резцы находятся ниже горизонтальной плоскости, проходящей через центр люльки (см. рис. 85, *а*); θ_2^0 — угла качания выше нулевого деления, когда резцы находятся выше этой плоскости (см. рис. 85, *в*). Угол качания ниже нуля при угле зацепления $\alpha_0=20°$ находят по формуле

$$\theta_1^\circ = \left(\frac{355{,}3\ K + 90}{z} - 0{,}8\right)\sin\varphi;$$

при угле зацепления $\alpha_0 = 15°$ или $\alpha_0 = 16°$

$$\theta_1^\circ = \left(\frac{458{,}4\ K + 90}{z} - 0{,}4\right)\sin\varphi,$$

$$\text{где}\quad K\frac{h''}{m};$$

h'' — высота ножки; m — модуль; z — число зубьев; φ — угол делительного конуса.

Полный угол качания в зависимости от угла θ_1 вычисляют по формуле

$$\theta^\circ = 2{,}888\ \theta_1^\circ \cdot$$

По вычисленному полному углу θ^0 можно рассчитать передаточное отношение сменных колес:

$$x_к = \frac{a_з}{b_з} = \frac{\theta^\circ}{23}$$

и подобрать их из имеющихся в наборе станка.

В руководстве к станку в таблице приведены величины углов качания: θ_1^0, θ_2^0 и θ^0, а также указаны сменные колеса, соответствующие этим углам.

Расчет угла установки поворотных сегментов люльки. В прямозубом коническом колесе зубья сужаются к малому торцу и становятся тоньше по всей их высоте, и все продольные образующие обеих сторон профиля сходятся в одной точке O — вершине начального конуса (см. рис. 93). В этой же точке сходятся и образующие OO_1 внутреннего конуса, расположенные по сторонам профиля зубьев. Каждая из этих образующих составляет с линией симметрии толщины зуба угол $\omega_м$.

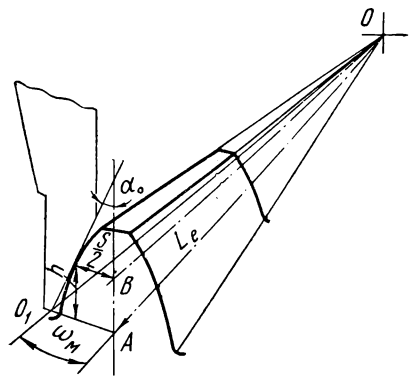


Рис. 93. Направление движения резцов при строгании зубьев

Вершина режущей кромки резца при нарезании зубьев должна

двигаться по образующей внутреннего конуса (см. рис. 84), т. е. по прямой OO_1 под углом $\omega_м$ (рис. 93) к линии симметрии зуба. Следовательно, поворотные сегменты люльки, направляющие движение ползунов с резцедержателями и резцами, должны устанавливаться каждый под углом $\omega_м$ к горизонтальной линии (к нулевой линии), пересекающей ось люльки под прямым углом.

Угол $\omega_м$ определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\omega_м = \frac{O_1A}{L_e} = \frac{\frac{S}{2} + h\operatorname{tg}\alpha_0}{L_e},$$

угол $\omega_м$ мал, поэтому $\operatorname{tg}\omega_м$ можно заменить углом в радианах

$$\omega_м = \frac{S + 2h\operatorname{tg}\alpha_0}{2L_e},$$

а в градусах

$$\omega_м = \frac{28{,}648(S + 2h\operatorname{tg}\alpha_0)}{L_e}.$$

В этих формулах: α_0— угол зацепления; h — высота ножки $=AB$; L_e— длина образующей начального конуса от большого торца; S — толщина нарезаемого зуба.

При черновом нарезании методом двойного деления углы установки сегментов определяют по формуле

$$\sin\omega_м = \sin\varphi_i \sin\frac{180}{z},$$

где φ_i— угол внутреннего конуса колеса (см. рис. 22).

Пример расчета наладки. Нарезать большее колесо из конической пары: модуль — $m=6$; угол зацепления — $\alpha_0=20°$; число зубьев: $z_1=23$, $z_2=32$; диаметры делительных окружностей, *мм*: $d_{д1}=138$, $d_{д2}=192$; высота головки зубьев: $h'=6$ *мм*; высота ножки $h''=7{,}2$ *мм*; толщина зубьев $S_1=S_2=9{,}425$ *мм*; углы начального конуса: $\varphi_1=35°42'24''$, $\varphi_2=54°17'36''$; углы внутреннего конуса: $\varphi_{i1}=32°22'9''$, $\varphi_{i2}=50°57'21''$; длина образующей начального конуса $L_e=123{,}354$, длина зуба $b=40$ *мм*.

Скорость резания принимаем $v=20$ *м/мин*.

1. Число двойных ходов

$$n = \frac{1000v}{2(b+7)} = \frac{1000 \cdot 20}{2(40+7)} = 212{,}76 \text{ ход/мин}.$$

По таблице ближайшее число двойных ходов $n=198$ *ход/мин* и передаточное отношение сменных колес

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{220} = \frac{198}{220} = 0{,}9.$$

Принимаем ближайшие сменные колеса из комплекта при станке

$$\frac{a_0}{b_0} = \frac{34}{38} = 0{,}8947.$$

2. Расчет сменных зубчатых колес подачи: для модуля $m=6$ время обработки одного зуба $t=44$ *сек*:

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{6{,}2}{44} = 0{,}1409.$$

Ближайшие колеса будут:

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot c_1} = \frac{30 \cdot 25}{70 \cdot 79} = 0{,}13562.$$

3. Сменные зубчатые колеса гитары деления

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{30}{z_2} = \frac{30}{32} = \frac{60}{64}.$$

Для соединения колес в гитаре устанавливаем паразитное колесо из комплекта при станке с любым числом зубьев (например, 50) и сменные колеса деления будут:

$$\frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{60 \cdot 50}{50 \cdot 64}.$$

4. Сменные зубчатые колеса обкатки

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{75} = \frac{\sqrt{23^2 + 32^2}}{75} = 0{,}52544146.$$

Подбираем заменяющее число

$$0{,}5254407 = \frac{43 \cdot 61}{78 \cdot 64},$$

тогда сменные зубчатые колеса будут:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{43 \cdot 61}{78 \cdot 64}.$$

5. Сменные зубчатые колеса для получения угла качания люльки

$$K = \frac{h''}{m} = \frac{7{,}2}{6} = 1{,}2.$$

$$\theta_1^\circ = \left(\frac{355{,}3 \cdot K + 90}{z_2} - 0{,}8\right) \cdot \sin \varphi_2 = \left(\frac{355{,}3 \cdot 1{,}2 + 90}{32} - 0{,}8\right) \times$$

$$\times \sin 54^\circ 17' 36'' = 12{,}453^\circ$$

По таблице из руководства к станку ближайшее значение угла $\theta_1^0 = 13{,}4°$ и сменные зубчатые колеса

$$x_к = \frac{a_з}{b_з} = \frac{34}{38}.$$

6. Угол установки поворотных сегментов люльки

$$\omega° = \frac{28{,}648 \cdot (S + 2h'' \operatorname{tg} \alpha_0)}{L_e} = \frac{28{,}648 \cdot (9{,}425 + 2 \cdot 7{,}2 \cdot \operatorname{tg} 20°)}{123{,}354} =$$

$$= 3{,}4061° = 3°24'.$$

Наладка станка

Установка сменных зубчатых колес. Сменные колеса передачи движения салазкам суппорта, а также гитар обкатки, деления и подачи устанавливают на валах в порядке их буквенного обозначения в направлении передачи движения. Сменные колеса гитар деления и обкатки должны входить в зацепление без зазора, но со свободным вращением.

Установка барабана подач. При черновом нарезании надо ввести ролик *1* в канавку *I* барабана (см. рис. 90). При чистовом нарезании ролик *2* вводится в канавку *II*.

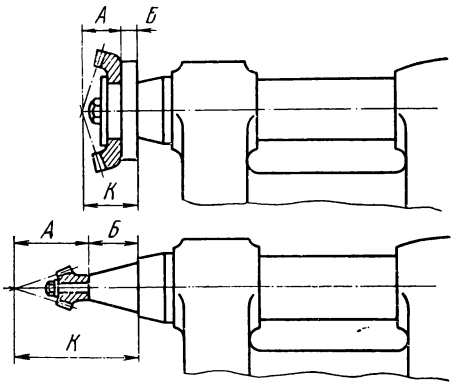


Рис. 94. Осевая установка заготовки

Ролик вводят в соответствующую канавку вручную маховичком и продольный стол отводят в крайнее от резцов положение. Затем отвинчивают винт, зажимающий ролики, и поворачивают валик реечного колеса, находящегося под барабаном, для переключения роликов. Вращение валика в ту или другую сторону выводит один ролик и вводит другой в нужную канавку; после этого закрепляют винт, стопорящий ролики.

Установка бабки с заготовкой в осевом направлении. Для совмещения вершины начального конуса нарезаемого колеса с центром станка бабку с заготовкой устанавливают на поворотном столе на определенном расстоянии от центра станка. Расстояние от центра станка до торца шпинделя называется осевой установкой и обозначается буквой *К*. Это расстояние складывается из двух составляющих $K = A + Б$ (рис. 94). Величина *А* — монтажная дистанция обрабатываемого колеса, т. е. расстояние от вершины конуса до опорного торца колеса, которым оно упирается при сборке в механизме. Это расстояние указывают в чертеже колеса или в карте технологического процесса. *Б* — расстояние между торцом оправки, в который упирается заготовка, и торцом, прилегающим к шпинделю. Это расстояние указы-

вают в чертеже оправки или измеряют на оправке. Если нарезаемое колесо на опорном торце имеет припуск под шлифование, то его надо прибавить к величине A.

Для установки бабки на расстояние K надо отпустить болты, крепящие бабку к столу и при помощи вращения шестигранника на корпусе бабки перемещать ее по направляющим поворотного стола. Перемещение отсчитывается по шкале и нониусу. Деление шкалы, указываемое нониусом, определяет расстояние от центра стола до торца шпинделя. После установки бабки необходимо вновь закрепить болты.

Установка поворотного стола на угол внутреннего конуса нарезаемого колеса. При чистовом нарезании поворотный стол устанавливают на угол φ_i (см. рис. 22) внутреннего конуса колеса. При черновом нарезании с делением на один зуб впадину рекомендуется прорезать немного глубже, чем глубина зуба, на величину $\Delta h = 0{,}1 \div 0{,}3$ *мм* для облегчения работы чистовых резцов. С этой целью увеличивают угол φ_i установки стола на величину

$$\Delta\varphi = \frac{3440\,\Delta h}{L_e}\ \textit{мин}.$$

При черновом нарезании методом двойного деления каждый из двух резцов прорезает отдельную впадину, и поворотный стол устанавливают на угол $\varphi_м$, отличный от угла внутреннего конуса φ_i. Угол установки определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi_м = \operatorname{tg}\varphi_i \cdot \cos\frac{180}{z}.$$

Для поворота стола ослабляют гайки крепления его с продольным столом и в отверстие в столе вставляют рычаг, при помощи которого стол поворачивают на необходимый угол, отсчитываемый по шкале, после чего гайки зажимают.

Установка оправки и крепление заготовки. Оправку устанавливают в конусное отверстие переднего конца шпинделя бабки и затягивают сзади болтом. После установки оправки необходимо проверить индикатором биение ее посадочных поверхностей: цилиндрической части и опорного торца, на котором базируется заготовка при посадке.

Заготовку закрепляют на оправке и проверяют на биение по внешнему конусу, а при большом угле начального конуса по дополнительному конусу. Величина допускаемого биения зависит от размеров колеса и степени точности его и должна находиться в пределах 0,01—0,05 *мм*.

Настройка длины хода продольного стола. Величина автоматического отхода продольного стола из крайнего рабочего положения, когда вершины резцов совпадают с образующей внутреннего конуса заготовки, должна равняться полной глубине нарезаемого зуба с добавлением $0{,}8 \div 1{,}5$ *мм*, что гарантирует зазор между вершинами резцов и зубьями колеса во время поворота заготовки при делении.

Для установки хода продольного стола ослабляют зажимный винт, затем вращением винта *4* (см. рис. 90) перемещают ползун (гайку) *5*,

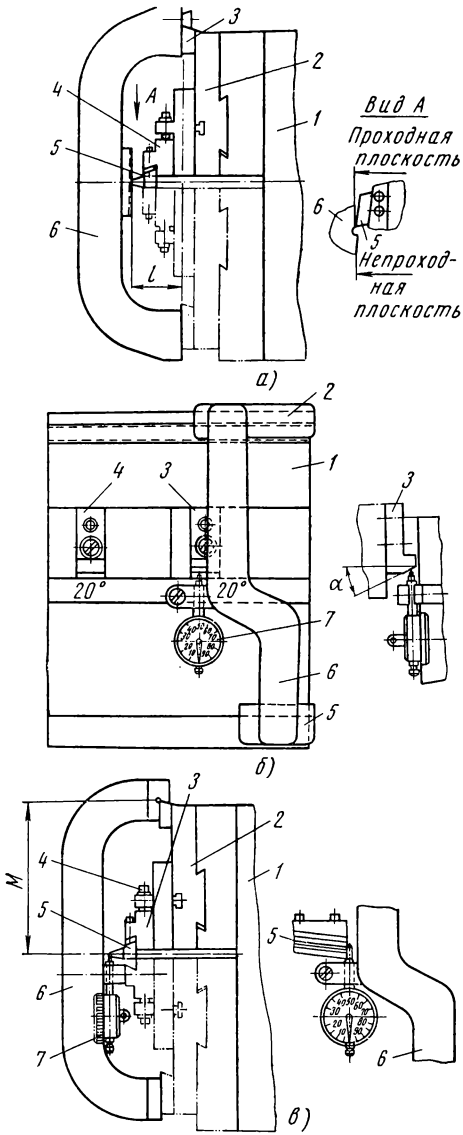


Рис. 95. Установка резцов по калибрам:

а — установка резца по длине: *1* — люлька, *2* — верхний ползун, *3* — призма для установки калибра, *4* — резцедержатель, *5* — резец, *6* — калибр; *б* — установка калибра высоты по эталону: *1* — эталон, *2* — верхняя опорная призмы калибра, *3* — пластинка для верхнего резца, *4* — пластинка для нижнего резца, *5* — нижняя опорная призма калибра, *6* — калибр, *7* — индикатор; *в* — установка резца по высоте: *1* — люлька, *2* — верхний ползун, *3* — резцедержатель, *4* — винт для регулировки резца, *5* — резец, *6* — калибр, *7* — индикатор

пока указатель не покажет на шкале стола необходимую величину хода стола, затем винт зажимают.

Установку сменных колес качания люльки выполняют следующим образом. Барабан подачи устанавливают по риске на нуль, а затем, сняв сменное колесо b_3 (см. рис. 88), вращают ведомый валик *XII* до тех пор, пока риска люльки не станет на нуль шкалы отсчета углов поворота ее; после этого вводят в зацепление колеса a_3 и b_3. Необходимо следить за тем, чтобы при установке колес валы не повернулись больше, чем это необходимо для сцепления колес.

Так как сменные колеса выбирают по таблице по ближайшему значению угла качания, то может оказаться, что угол θ_1 качания ниже нуля, или слишком мал, или слишком велик. При малом угле резцы будут врезаться в заготовку во время быстрого подвода стола. В этом случае надо увеличить угол качания люльки, поставив другие сменные колеса, взятые из той же таблицы для большего угла θ_1. При этом угол качания возрастает не только вниз, но и вверх от нулевого положения, что приведет к дополнительному холостому ходу. Для устранения этого перебега надо расцепить сменные колеса качания и немного повернуть люльку, чтобы резцы опустились вниз, после чего следует вновь сцепить колеса. Во избежание снижения производительности станка нужно выбирать угол качания люльки минимальным, но достаточным для обкатки профиля.

При черновом зубонарезании без обкатки необходимо поста-

вить люльку в среднее положение (на нуль) и вместо сменных колес качания a_3 и b_3 установить запорный хомут, связывающий валики, на которые эти колеса насажены; при этом ведомый валик *XII* (см. рис. 88), сообщавший качание люльке, не будет вращаться, делительный же механизм будет получать вращение от вала *VII* через дифференциал. Для предотвращения поворачивания заготовки в процессе нарезания необходимо установить сменные колеса гитары обкатки, которые в данном случае не вращаются и препятствуют повороту вала *XIV*; передаточное отношение сменных колес обкатки значения не имеет.

Установка поворотных сегментов люльки на угол зуба. Угол установки каждого сегмента рассчитывают по формулам, приведенным в расчете наладки, или принимают по карте наладки.

Для установки каждого сегмента на угол отпускают три гайки, присоединяющие сегмент к люльке: две со стороны шкалы отсчета углов и одну на переднем конце сегмента и при помощи винта устанавливают сегмент таким образом, чтобы шкала показывала угол, полученный по расчету. Затем гайки затягивают. В том же порядке устанавливают и второй сегмент.

Установка резцов по длине. По длине резцы устанавливают при помощи калибра длины (рис. 95, *а*). При перемещении резца вдоль резцедержателя по плоскости, наклоненной под углом 12° (см. рис. 87), он выдвигается вперед или отодвигается назад и устанавливается в плоскости, проходящей через центр станка. Эту регулировку выполняют следующим образом: резец не сильно зажимают винтами на резцедержателе, а калибр длины *6* (см. рис. 95, *а*) устанавливают плотно к передним плоскостям обоих ползунов. Расстояние *l* от этих плоскостей до плоскости, проходящей через центр станка, выдержано и на калибре. Регулируемый резец перемещают вдоль по резцедержателю до тех пор, пока его вершина не коснется проходной плоскости калибра; другая плоскость калибра непроходная, и вершина резца не должна проходить через нее. После этого винты крепления резца окончательно затягивают и вторично проверяют проходной и непроходной плоскостями калибра.

При установке резцов необходимо, чтобы суппорт был остановлен при движении вперед и откидная державка выдвинула резец в рабочее положение. Резцы вперед двигаются поочередно, а потому установку в рабочее положение каждого резца надо проверять отдельно.

Установка резцов по высоте. Как было показано на рис. 93, вершина резца должна двигаться по прямой OO_1. Площадка ползуна, на которую устанавливают калибр (рис. 95, *в*), параллельна этой прямой и находится на постоянном расстоянии *M* от нее. Площадки на верхнем и нижнем ползунах разные и резцы профильными сторонами расположены в разные стороны, а потому применяют два калибра: один для нижнего резца, другой для верхнего.

Эталон *1* (рис. 95, *б*), по которому настраивают калибр *6*, имеет две базовые призмы *2* и *5*, соответствующие площадкам ползунов. На эталоне закреплены две пластинки с профильным углом 20°: пластинка *4* для нижнего резца и *3* для верхнего. На рис. 95, *б* показана установка

калибра для верхнего резца. Расстояние от вершины пластинки до базовой площадки эталона также равно *М*. Калибр устанавливают на эталон базовыми площадками так, чтобы ножка индикатора *7* касалась профиля пластинки, при этом стрелка индикатора должна показывать на нуль. Затем калибр с индикатором устанавливается на боковую площадку ползуна (см. рис. 95, *в*). Ножка индикатора должна касаться профильной стороны резца у режущей кромки. Затем отпускают винты, крепящие резец, и при помощи винта *4* перемещают резцедержатель *3* по высоте до тех пор, пока стрелка индикатора не будет показывать на нуль; после чего винты закрепляют. Другой резец устанавливают другим калибром таким же способом.

Настройка длины хода ползунов. Длина хода ползунов, равная длине *l* хода резцов, регулируется перестановкой пальца в кривошипном диске *D* (см. рис. 88). Величина перемещения пальца зависит от принятых величин длины хода и угла установки поворотных сегментов люльки. Палец перемещается в радиальном пазу кривошипного диска винтом, находящимся под крышкой корпуса люльки. Для вращения винта имеется ключ с подвижным плунжером и шкалой делений. Винт при вращении его ключом перемещает плунжер.

На станке под крышкой находится таблица, в которой указано, до какого деления на шкале ключа должна перемещаться риска плунжера.

Для установки кривошипа надо открыть крышку, отпустить гайку крепления пальца на кривошипе и вращать станок вручную, пока головка винта, перемещающего палец, не займет верхнее положение. По таблице найти деление для требуемой длины хода при данном угле установки сегментов. Надеть на головку винта ключ и вращать его до тех пор, пока плунжер переместится до совпадения риски с требуемым делением шкалы. После этого надо затянуть гайку крепления пальца.

Установка суппортов на ползунах. Для установки суппортов вращают станок вручную, пока один из ползунов не станет в крайнее наружное положение. Затем подводят продольный стол с заготовкой к резцам, ослабляют болты, закрепляющие суппорт, перемещают суппорт по ползунам так, чтобы режущая кромка выходила за пределы зуба (у большого торца) на 5 *мм*, и закрепляют его. После этого переводят ползун с суппортом в крайнее внутреннее положение; режущая кромка резца при этом должна выходить за пределы зуба на 2 *мм*. Таким образом устанавливают и другой суппорт.

Проверка правильности набора сменных зубчатых колес гитар деления и обкатки. Для определения правильности расчета и набора сменных колес гитар деления и обкатки надо проверить соответствие вращений люльки и шпиндельной бабки.

Угол поворота шпинделя замечают по шкале, находящейся на задней стороне бабки.

Набор сменных колес гитары деления проверяют следующим образом: вначале поворачивают люльку и устанавливают ее риску на какое-либо целое деление шкалы, указывающей углы поворота люльки.

Кольцо с нониусом на заднем конце шпинделя бабки устанавливают на нуль, затем включают станок на один цикл, пока люлька, сделав качание в одну и другую сторону, не придет точно в прежнее положение по шкале люльки. За это время нониус на шкале бабки должен повернуться на угол, равный $\frac{360°}{z}$.

При черновом нарезании, когда люлька не вращается, цикл работы определяется перемещением продольного стола к резцам и обратно; при двойном делении шпиндель бабки должен повернуться на угол $\frac{720°}{z}$.

Если шпиндель поворачивается на угол, полученный по расчету, сменные колеса гитары деления установлены правильно.

Для проверки правильности набора сменных колес гитары обкатки люльку вначале движения ее снизу вверх (против часовой стрелки) останавливают так, чтобы указатель показал на шкале какое-либо целое значение градусов, затем устанавливают кольцо с нониусом на задней стороне бабки на нуль и включают станок. После того как люлька повернется на какой-либо угол, выраженный целым числом градусов, например, на $\omega = 20°$, станок останавливают. За это время шпиндель бабки должен повернуться на угол:

$$\psi = \frac{\omega\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}{z},$$

где z — число зубьев нарезаемого колеса.

Если эти требования выполняются, то сменные колеса обкатки установлены правильно.

Разделение припуска при чистовом нарезании. При чистовом нарезании припуск должен равномерно сниматься с обеих сторон зуба. Для первого обрабатываемого колеса припуск делят соответствующей установкой резцов. Люлька устанавливается в среднее положение (на нуль), режущие вершины резцов при этом находятся в одной вертикальной плоскости. Резцы приводят в рабочее положение, т. е. отодвигают от плоскости люльки вперед. Затем вручную подводят продольный стол с бабкой и нарезаемым колесом к резцам, разъединяется муфта делительного червяка, соединяющая вращение люльки и заготовки, и шпиндель с заготовкой поворачивается таким образом, чтобы начерно нарезанный зуб находился между обоими резцами. Муфта с червяком соединяется вновь и стол отводится назад, после чего настраивается прибор для распределения припуска. Наконечник прибора вводится во впадину между зубьями и зажимается, а затем отводится от заготовки. Последующие заготовки устанавливают на оправку так, чтобы наконечник прибора входил в предварительно нарезанную впадину, и в таком положении зажимают, а прибор отводят от колеса.

Настройка автомата выключения станка. На наружном конце шпинделя, сзади бабки, имеется диск с делениями, внутри которого помещается кулачок автоматического выключения станка. Перед началом

нарезания зубьев на заготовке кулачок устанавливают в исходное положение. После одного оборота шпинделя кулачок подходит к конечному выключателю и нажимает на него: станок останавливается. Перед началом нарезания следующего колеса кулачок возвращается в исходное положение.

Измерение конических зубчатых колес с прямыми зубьями

Зубья конических колес измеряют как в процессе нарезания, так и в готовом виде. В процессе нарезания измеряют толщину зуба по хорде и полную его высоту. Измерение выполняют у большого торца в направлении образующей дополнительного конуса. Толщину зуба конических колес измеряют так же и теми же зубомерами, как и у цилиндрических колес; высоту определяют универсальным высотомером или специальным шаблоном.

Расположение пятна контакта проверяют на обкатном станке, описание которого приведено в § 43.

Основные дефекты профиля нарезаемых зубьев

Основными дефектами профиля и причинами их возникновения являются:

несимметричность нарезанных зубьев из-за неправильной установки резцов по калибрам, по длине или по высоте; неправильного регулирования угла установки сегментов;

срезание зубьев в результате неправильной установки и неправильного подбора сменных колес гитары обкатки, а также при неправильном зазоре в зацеплении червяка люльки;

чернота на зубьях, появляющаяся при малом припуске на чистовую обработку в результате неточности при делении припуска (люлька была установлена не на нуль), а также при неправильном пользовании прибором для деления припуска;

волнистость поверхности зубьев, появляющаяся при небольшом перебеге резцов, износе клиньев салазок, износе откидной державки суппорта, слабом креплении заготовки, а также при недостаточной жесткости оправки или крепления заготовки.

ГЛАВА VII

НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

§ 36. ОБРАЗОВАНИЕ КРУГОВЫХ ЗУБЬЕВ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ

Круговые зубья конических колес расположены по дуге окружности (рис. 96), а поэтому плосковершинное производящее колесо *1* должно иметь такие же круговые зубья, чтобы входить в зацепление с колесом *2*. При нарезании круговых зубьев роль производящего колеса выполняет вращающаяся люлька и резцы головки *3*, вращающиеся по окружности.

Люлька и заготовка вращаются в одну и другую сторону согласованно, как это делало бы производящее колесо в зацеплении с коническим. Шпиндель резцовой головки установлен в люльке и перемещается вместе с люлькой, кроме того, головка все время вращается в одну сторону вокруг своей оси, осуществляя процесс резания. В результате вращения головки резцы прорезают впадины между зубьями, а при вращении люльки с закрепленной на ней резцовой головкой и заготовки резцы обкатывают нарезаемые зубья и формируют их эвольвентный профиль.

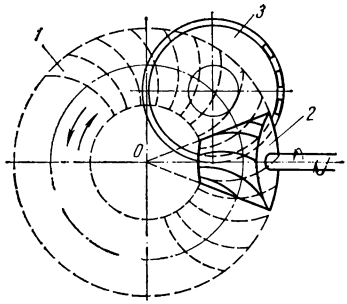


Рис. 96. Зацепление производящего и конического колес с круговыми зубьями

Последовательное положение резцов головки относительно зубьев нарезаемого колеса показано на рис. 97. Заготовка и люлька вращаются против часовой стрелки, а ось резцовой головки перемещается с люлькой снизу вверх до тех пор, пока резцы не выйдут из зацепления, после чего заготовка отходит и вращение происходит в противоположном направлении.

Принципиальная схема механизма станка и установка заготовки показаны на рис. 98. Согласованность вращения люльки и заготовки достигается сменными колесами, рассчитываемыми в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса. Вершины резцов должны передвигаться по образующей внутреннего конуса нарезаемого колеса, для этого колесо необходимо устанавливать под углом φ_i внутреннего конуса к плоскости, в которой передвигаются вершины резцов.

Заготовку следует устанавливать относительно центра станка в правильное положение. Центром станка, как и в зубострогальном станке 526, называется точка, в которой пересекаются горизонтальная ось OO_2 люльки, горизонтальная ось OO_1 шпинделя бабки и вертикальная ось O поворотного стола. Через центр стола должна проходить плоскость, в которой осуществляется передвижение вершин резцов

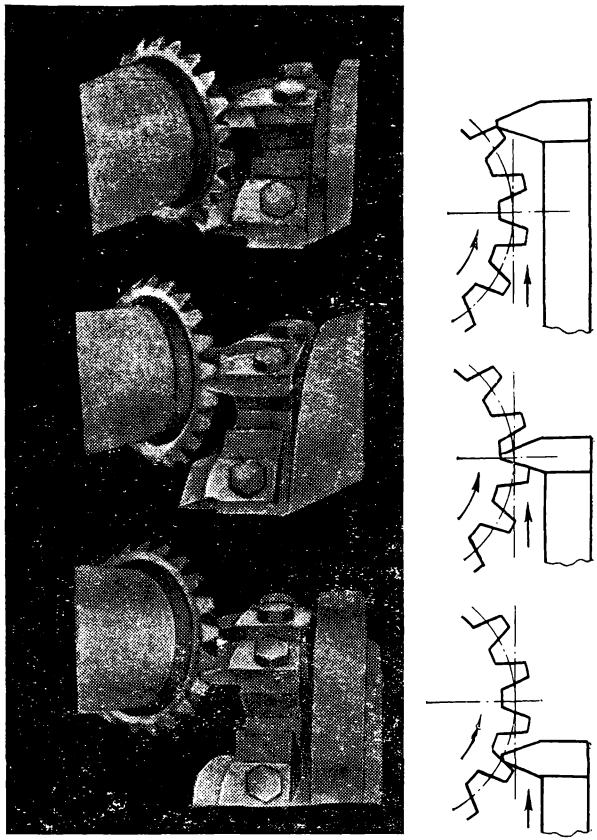


Рис. 97. Последовательное положение резцов головки относительно нарезаемого колеса при нарезании круговых зубьев конических колес с обкаткой

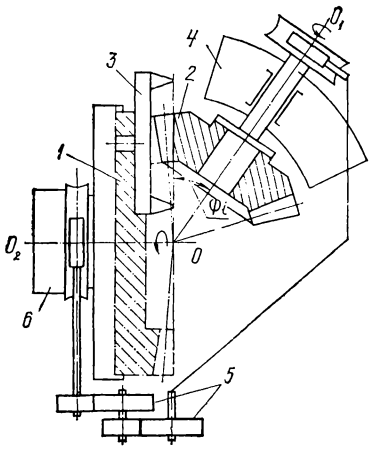


Рис. 98. Принципиальная схема нарезания конических колес с круговыми зубьями по методу обкатки:

1 — производящее колесо (воображаемое), *2* — нарезаемое коническое колесо, *3* — резцовая головка, *4* — поворотный стол, *5* — сменные колеса, *6* — люлька

головки, и с центром стола должна совпадать вершина начального производящего конуса нарезаемого колеса.

Вращение головки — это главное движение в процессе резания. Оно не зависит от вращения люльки и может быть направлено в одну или другую сторону, в зависимости от направления режущих кромок зубьев головки. Вращение люльки и заготовки — это движение обкатки. Кроме того, станок должен осуществлять перемещение заготовки к головке и отвод назад, а также периодический поворот заготовки для нарезания следующего зуба.

§ 37. РЕЗЦОВЫЕ ГОЛОВКИ

Резцовая головка (рис. 99) выполняется в виде диска с пазами, в которые вставляют и крепят винтами резцы перпендикулярно торцовой плоскости диска.

Резцы бывают трех типов: наружные, внутренние и средние (рис. 100). Кроме того, резцы подразделяются на праворежущие (рис. 100, *а*) и леворежущие (рис. 100, *б*), отличающиеся только расположением режущих кромок. Резцы наружные и внутренние имеют режущую кромку и соответствующий ей рабочий профиль только с

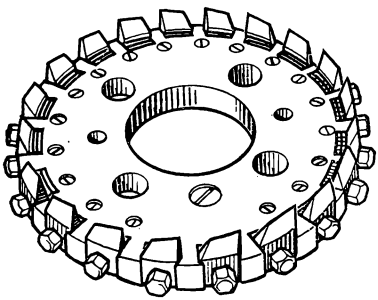


Рис. 99. Внешний вид резцовой головки для нарезания конических колес с круговыми зубьями

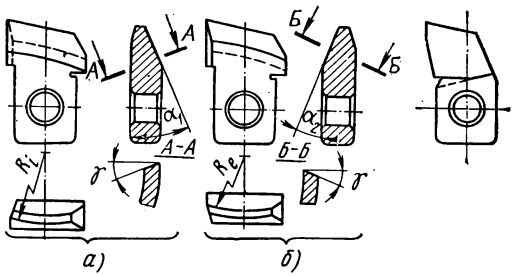


Рис. 100. Резцы к резцовым головкам

одной стороны; другая сторона профиля нерабочая. Средний резец имеет рабочую кромку у вершины. Угол рабочего профиля выполняется в соответствии с номинальным углом зацепления α_0 нарезаемых колес с номерной поправкой $\Delta\alpha$.

Резцы с профильным углом, равным углу зацепления колеса, нарезали бы правильные зубья колеса в том случае, если бы устанавливались перпендикулярно линии образующей начального конуса. Но их устанавливают перпендикулярно образующей внутреннего конуса φ_i (см. рис. 98). При такой установке внутренний и наружный резцы

с одинаковыми профильными углами нарезали бы зубья с неравными углами зацепления на одной и другой стороне. Чтобы профили зубьев получились правильными, углы профиля резцов делают не одинаковыми, т. е. вводят поправку углов на величину $\Delta\alpha$.

Угол профиля наружного резца уменьшают на величину поправки и делают равным $\alpha_e = \alpha_0 - \Delta\alpha$, угол профиля внутреннего резца увеличивают на такую же величину и получают $\alpha_i = \alpha_0 + \Delta\alpha$ (см. рис. 100). Единица поправки принята равной 10 *мин*, а количество единиц обозначается номерами, начиная с $1^1/_2$ через один, т. е. $1^1/_2$; $2^1/_2$; $3^1/_2$; $4^1/_2$ и так далее до $20^1/_2$. Резцы в зависимости от количества единиц поправки угла профиля обозначают номерами. Так, резец № $7^1/_2$ имеет величину поправки

$$\Delta\alpha = 10 \cdot 7\frac{1}{2} = 75 \text{ мин.}$$

Задние углы при вершине и по бокам с обеих сторон профиля затылуются. Затачивают резцы только по передней режущей поверхности в направлении от боковой режущей кромки, а средний резец от вершины под углом γ; угол заточки обыкновенно принимают равным $\gamma = 20°$. Заточка резцов производится в сборе с корпусом головки.

Резцовые головки по номинальным диаметрам нормализованы, величины их приняты в дюймах с переводом в миллиметры и имеют следующие номинальные диаметры (*мм*):

$3^1/_2''$	88,9
$6''$	152,4
$7^1/_2''$	190,5
$9''$	228,6
$12''$	304,8
$18''$	457,2

По назначению головки подразделяются на двусторонние и односторонние. Двусторонние головки предназначены для чернового нарезания и чистовой обработки одновременно обеих сторон впадины зубьев колеса. Черновые головки с модулем больше пяти имеют резцы трех типов, устанавливаемые поочередно: наружный, средний, внутренний. Средний резец прорезает дно впадины, а наружный и внутренний обрабатывают боковые поверхности. Односторонние головки могут обрабатывать только одну сторону зуба: вогнутую или выпуклую. По направлению вращения при резании головки могут быть правые и левые.

Общий вид двусторонней головки приведен на рис. 101. Головка имеет два типа резцов: наружные *6* и внутренние *5*, устанавливаемые поочередно. Наружные резцы обрабатывают вогнутую сторону зубьев колеса, внутренние — выпуклую. Вершины режущих кромок наружного и внутреннего резцов находятся на разных расстояниях от оси резцовой головки. Расстояние между вершинами режущих кромок наружного и внутреннего резцов называется разводом резцов и обо-

значается буквой W. Диаметр окружности, проходящий через вершины кромок наружных резцов, называется наружным образующим диаметром D_e, а проходящий через вершины кромок внутренних резцов — внутренним образующим диаметром D_i.

Головка крепится к шпинделю винтами через отверстия *4*. Для отжима головки при снятии со шпинделя служит отжимной винт *11*. В пазах корпуса *1* под каждым резцом имеется регулировочный клин *8* и подкладка *2*. Заменяя подкладки, можно устанавливать резцы при одном и том же номинальном размере D_0 головки на больший или меньший развод резцов. Точная регулировка всех резцов на один и тот же образующий диаметр производится регулировочными клиньями, перемещающимися при помощи регулировочных винтов *7*. При небольшом повороте винта клин смещается и резец отодвигается или приближается к центру головки, а затем закрепляется винтом *3*. В двух соседних пазах клинья под один наружный и один внутренний резец закреплены намертво штифтами *10*. При сборке резцов в головку эти два резца устанавливают на образующие диаметры, остальные резцы регулируют по отношению к ним.

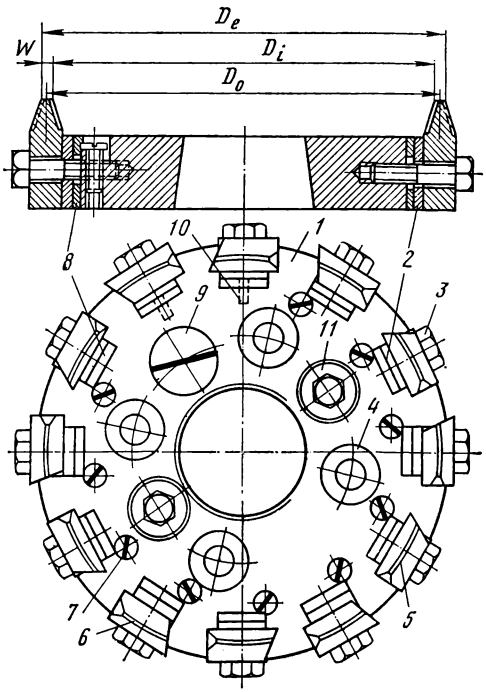


Рис. 101. Резцовая двусторонняя головка

Односторонние головки подразделяются на наружные и внутренние. Наружные головки имеют только наружные резцы и обрабатывают вогнутые стороны зубьев колеса; внутренние головки имеют только внутренние резцы и обрабатывают выпуклые стороны зубьев. Так как односторонние головки имеют резцы только одного типа, то они не имеют развода W. Их образующие радиусы отличаются от номинального на величину поправки радиуса ΔR, которая определяется при расчете головок для получения необходимой длины пятна контакта профилей зубьев сопрягаемых колес. Образующий радиус наружной головки меньше номинального радиуса и равен $R_e = R_0 - \Delta R$, а радиус внутренней головки больше и равен $R_i = R_0 + \Delta R$.

В один и тот же корпус головки могут монтироваться резцы с разными углами профилей и разными номерными поправками. Потому в корпус как односторонних, так и двусторонних головок ввинчивает-

ся пробка *9* (см. рис. 101), на которой маркируется индекс, номинальный диаметр, угол зацепления, номер резца и для двусторонних головок развод резцов, а для односторонних — образующий диаметр.

Устанавливают головку на заплечик инструментального шпинделя станка с упором в его бурт. Заплечик имеет небольшую конусность и отверстие в головке делают с такой же конусностью. Для облегчения снятия головки со шпинделя предусмотрены два отжимных винта *11*, которые при ввинчивании в корпус упираются в торец шпинделя и отжимают головку.

§ 38. МЕТОДЫ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

При нарезании и проверке сопрягаемой пары конических колес с круговыми зубьями принято называть меньшее колесо шестерней, а большее колесом.

Методы нарезания характеризуются типами применяемых головок, их работой и разными наладками станков. Существуют различные методы нарезания зубьев, отличающиеся либо технологическими приемами, либо наладкой станка. Основными являются: двусторонний простой; односторонний и двусторонний двойной.

Двусторонний простой метод. Этот метод нарезания является наиболее распространенным. Дно впадины колеса получается одинаковой ширины по длине зуба. Для обеспечения контакта при сопряжении колес шестерня должна иметь вершину зуба одинаковой толщины вдоль зуба, а дно впадины — сужающееся от бóльшего торца к меньшему. Для получения такой формы впадины шестерня нарезается иначе; чем колесо: колесо нарезается одной головкой с одной установки, а шестерня двумя с разными установками.

При двустороннем простом методе нарезание ведется или только двусторонними головками (без односторонних) или четырьмя головками: двумя двусторонними и двумя односторонними.

Нарезание двусторонними головками одной или двумя (черновой и чистовой) применяется в единичном производстве. Колесо нарезают начерно, а потом при той же установке головки нарезают начисто одновременно по обеим сторонам впадины зубьев. Если резцы разведены недостаточно, то после одного чистового прохода нарезаемое колесо поворачивается со шпинделем бабки и при втором проходе нарезается одна из сторон зубьев до необходимой толщины зуба.

Шестерня сначала прорезается начерно, а затем при новой установке головки нарезается начисто одна сторона зубьев той же головкой, после чего головка опять переставляется и нарезается другая сторона. При чистовом нарезании одной и другой стороны профилей зубьев работает сперва одна, а затем вторая сторона головки.

Нарезание двусторонними и односторонними головками применяется при серийном производстве. Черновой головкой (одной или двумя

разными) предварительно нарезается колесо и шестерня при одинаковой установке головки (основная установка).

Чистовое нарезание колеса осуществляется другой двусторонней головкой — чистовой с разводом W по ширине впадины между зубьями колеса. Головка устанавливается так же, как и при черновом нарезании, и работает одновременно обеими сторонами резцов, обрабатывая окончательно обе стороны впадины зубьев до заданной толщины.

При нарезании шестерни двумя односторонними головками каждая головка устанавливается по-разному, наружная головка обрабатывает вогнутую сторону зубьев, а внутренняя выпуклую.

Односторонний метод. Этот метод применяется в мелкосерийном или единичном производстве при требовании хорошего контакта сопрягаемой пары колес. При этом методе колесо и шестерня нарезаются одними и теми же головками, в этом случае требуется три головки. Колесо и шестерня начерно нарезаются одной двусторонней головкой при одной и той же установке, чистовое нарезание осуществляется двумя односторонними головками, при этом установка каждой головки меняется два раза. Наружная головка устанавливается один раз для колеса и второй раз для шестерни; внутренняя также один раз для колеса и второй раз для шестерни.

Односторонним методом можно нарезать колесо и шестерню одной двусторонней головкой. Колесо и шестерня после чернового нарезания обрабатываются одной двусторонней головкой (отдельной чистовой или той же черновой), которая работает в каждом случае одной стороной резцов. Головку при этом устанавливают четыре раза: два при нарезании колеса по выпуклой и вогнутой стороне профилей зубьев и два раза для нарезания шестерни по обеим сторонам профилей. При нарезании одной двусторонней головки контакт зубьев сопрягаемых колес хуже, чем при нарезании односторонними головками.

Двойной двусторонний метод. Черновое нарезание колеса и шестерни осуществляется в обычном порядке двусторонней головкой, чистовое — отдельными двусторонними головками одновременно по обеим сторонам впадины зубьев и с той же установки, как при черновом нарезании. Этот метод не обеспечивает хорошего расположения пятна контакта и применяется при нарезании мелкомодульных колес ($m<2{,}5$) или передач невысокого качества.

Полуобкаточный метод. Этот метод нарезания зубьев применяется для сопрягаемой пары, колесо которой имеет угол начального конуса $\varphi>50°$. При этом профиль зубьев колеса нарезается без обкатки (без качания люльки, а только подачей заготовки к резцовой головке) и получается с прямолинейными сторонами. Сопрягаемая шестерня при нарезании кроме обкаточного качания получает от механизма модификации дополнительное качание люльки. Профили зубьев шестерни получают форму, соответствующую правильному сопряжению их с прямолинейными профилями зубьев колеса, нарезанными без обкатки, т. е. модифицируются.

§ 39. ЗУБОРЕЗНЫЙ СТАНОК 5А27С1

Устройство станка

Общий вид станка 5А27С1 показан на рис. 102. На станине *1* слева смонтирована обкатная люлька *7*, вращающаяся в корпусе. В люльке установлен поворотный эксцентриковый барабан (эксцентрик) *6* со шпинделем *8*. На шпинделе крепится резцовая головка, перемещающаяся с люлькой при ее качании. Справа на станине установлен продоль-

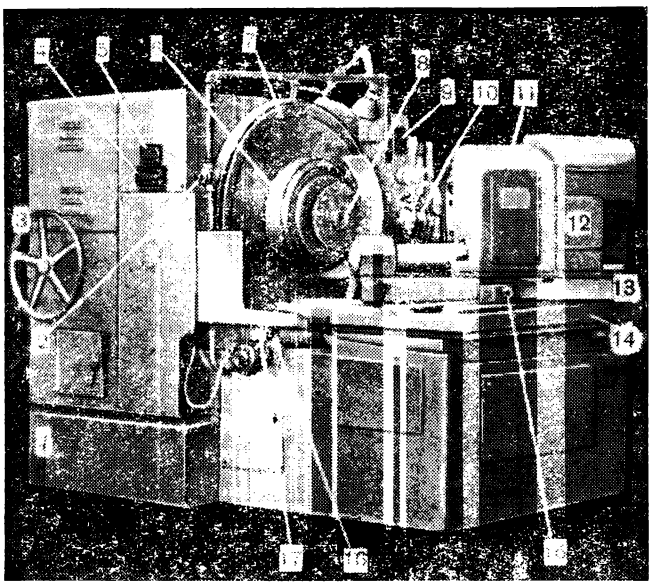


Рис. 102. Общий вид зуборезного станка модели 5А27С1

ный стол *14*, перемещающийся вдоль станины при включении кнопки *16* ускоренного подвода и отвода, а на нем поворотный стол *13*, поворачивающийся вокруг вертикальной оси, определяющей центр станка (стол поворачивается вручную квадратом *15*). На этом столе расположена бабка изделия *11* со шпинделем *10*, в котором устанавливается оправка для крепления заготовки при помощи гидропривода *12*. Бабка может перемещаться по поворотному столу для совпадения вершины начального конуса заготовки с центром станка. С задней стороны шпинделя бабки имеется диск с делениями и нониусом для отсчета поворота шпинделя. Барабан подач и распределительный барабан расположены на одной оси и находятся под механизмом люльки со стороны, противоположной маховичку *3*.

Станок имеет гидросистему, при помощи которой продольный стол подводится к началу механической подачи и отводится назад и зажи-

мается заготовка в шпинделе бабки. Гидросистема осуществляет смазку станка при помощи рукоятки *17*. Масло для смазки подается через регулирующие клапаны, понижающие давление, и по трубопроводам подводится к местам смазки.

Для охлаждения инструмента и заготовки при нарезании служит электронасос, включаемый и выключаемый кнопками; подача охлаждающей жидкости регулируется краном *2*.

Управление станком и гидроприводом осуществляется кнопками *4* и *5*, а также контактным включателем *9*.

Черновое нарезание на станке 5А27С1 можно выполнять двумя способами: без обкатки и с обкаткой. При нарезании без обкатки люлька и заготовка в процессе нарезания не вращаются; вращается только резцовая головка, а заготовка постепенно подается к головке до прорезания зубьев на необходимую глубину. Зубья колеса получаются прямолинейного профиля в виде трапеции. При этом способе нарезания станок за один цикл, т. е. за время прорезания одной впадины, выполняет следующие движения: быстрый подвод стола в рабочее положение для начала резания; постепенную подачу стола с бабкой и заготовкой до прорезания впадины между зубьями на заданную глубину; быстрый отвод стола; деление — поворот заготовки на один зуб.

Чистовая обработка профилей зубьев происходит в процессе обкатки. Этот цикл осуществляется в такой последовательности: быстрый подвод стола с бабкой в рабочее положение так, чтобы резцы головки заходили бы на полную глубину предварительно прорезанных впадин между зубьями; рабочая обкатка-люлька вращается против часовой стрелки, заготовка тоже вращается против часовой стрелки в соответствии с вращением люльки; стол стоит неподвижно; обкатка происходит до выхода из зацепления резцов с зубьями нарезаемого колеса; отвод продольного стола и изменение направления вращения люльки и заготовки; деление — поворот заготовки на один зуб. Для полуобкатных пар чистовое нарезание колеса выполняются без обкатки.

Черновое нарезание зубьев с обкаткой выполняется в таком же порядке, как и чистовое, но угол качания люльки устанавливается так, чтобы резцы головки перед началом резания находились в стороне от заготовки; при вращении люльки и заготовки резцы постепенно врезаются на полную глубину вдоль впадины зубьев, одновременно осуществляется обкатка. Подробнее этот способ будет рассмотрен при описании наладки станка.

Работа на станке

Включение станка в электросеть производится включателем *9* (см. рис. 102), а пуск — нажатием кнопки станции управления *4*; остановка станка на короткое время осуществляется нажатием остановочной кнопки на этой же станции. При наладке станка и при регулировке забора стружки приходится на короткое время приводить в движение станок. Это осуществляется кнопками «Толчок». Эти кнопки расположены на станциях управления *4* сбоку и сзади станка.

Нарезание зубьев и остановка станка производятся автоматически.

Заготовка устанавливается на шпиндель бабки в таких же оправках, как и на зубострогальном станке 526. Зажим и освобождение заготовки и перемещение стола в рабочее положение и обратно осуществляются гидросистемой при помощи рукоятки *17*, устанавливаемой в три положения: при повороте вправо стол отводится от резцовой головки и отжимается патрон, крепящий заготовку; при среднем положении стол остается отведенным, а заготовка зажата пружиной патрона; при повороте рукоятки влево стол подводится к головке и заготовка зажимается в патроне шпинделя давлением масла гидросистемы.

Подвод и отвод стола можно производить медленно и быстро. Для медленного перемещения стола надо поворачивать рукоятку *17* в ту или другую сторону; для быстрого перемещения стола надо нажать кнопку *16* на конце этой рукоятки и, не отпуская ее, поворачивать рукоятку в требуемое положение. Пуск станка после установки следующей заготовки производится нажатием пусковой кнопки на станции управления *4*.

Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка приведена на рис. 103, а структурная на рис. 104. Механизм станка приводится в движение электродвигателем *Э* с числом оборотов $n=1500$ *об/мин*.

Движение к отдельным узлам станка передается по следующим кинематическим цепям.

I. Вращение головки: электродвигатель — шпиндель головки.
II. Подача (вращение барабана *А*): электродвигатель — барабан.
III. Качание люльки: вал *VI* — люлька.
IV. Обкатка: люлька — заготовка.
V. Механизм модификации.
VI. Деление: вал *VI* — заготовка.

Цепь I. Вращение резцовой головке передается от электродвигателя *Э* согласно структурной схеме через сменные колеса $x_0 = \frac{a_0}{b_0}$. Меняя попарно эти колеса, можно получать различные числа оборотов головки, т. е. изменять скорость резания. Изменение направления вращения головки производится переключением электродвигателя. При изменении направления вращения электродвигателя изменяется направление вращения только головки, вращение же барабана подач и всего механизма по всем кинематическим цепям остается неизменным. Для этого при реверсировании электродвигателя сменное колесо d_1 снимается с вала *V* и устанавливается на промежуточный валик V_a, не изменяя его зацепления с колесом c_1. Тогда в передачу движения к механизму вводится дополнительная пара колес 1 : 1, вследствие чего изменяется направление вращения только вала *I*, передающего вращение головке, вращение же вала *V* останется неизменным.

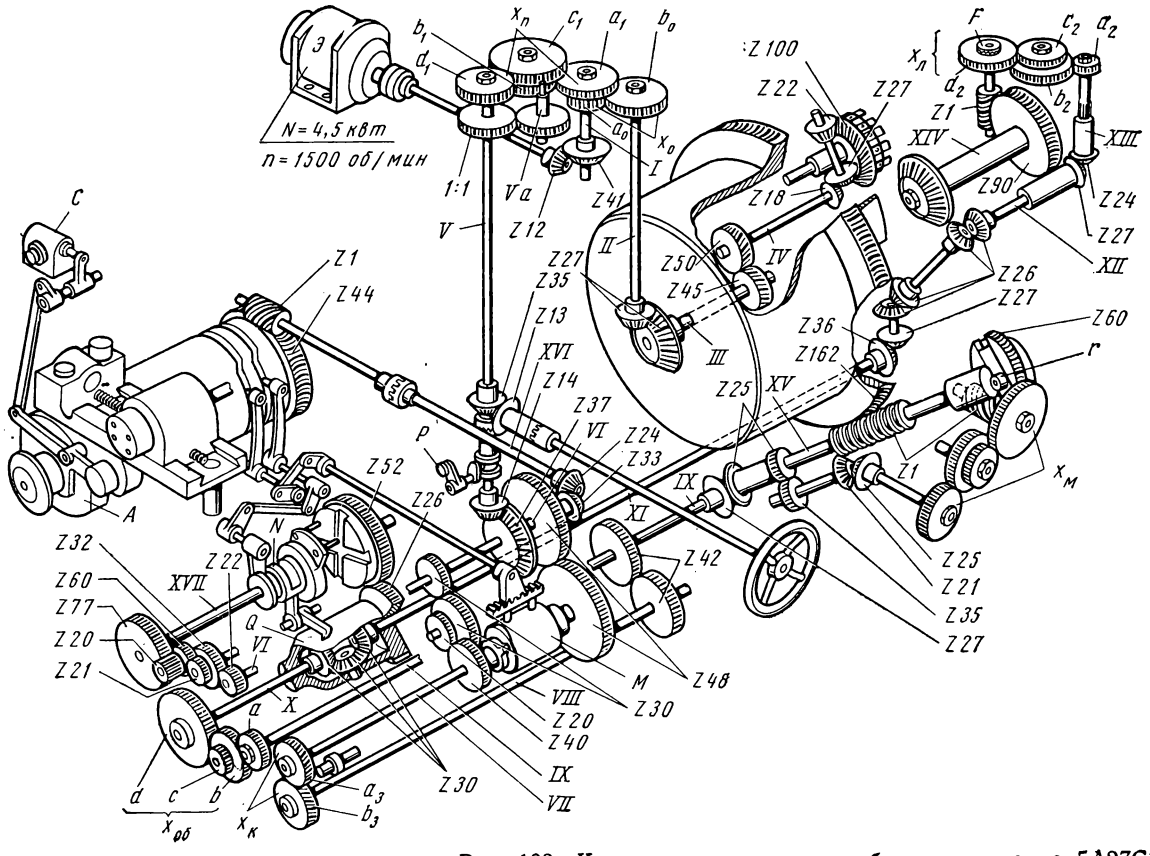


Рис. 103. Кинематическая схема зуборезного станка 5А27С1

Цепь II. Подача (вращение барабана *A*). Подача определяется временем одного цикла. Барабан получает вращение от электродвигателя через конические колеса *12 : 41*, вал *I* и сменные колеса гитары подач $x_п$ и дальше согласно структурной схеме червячную пару

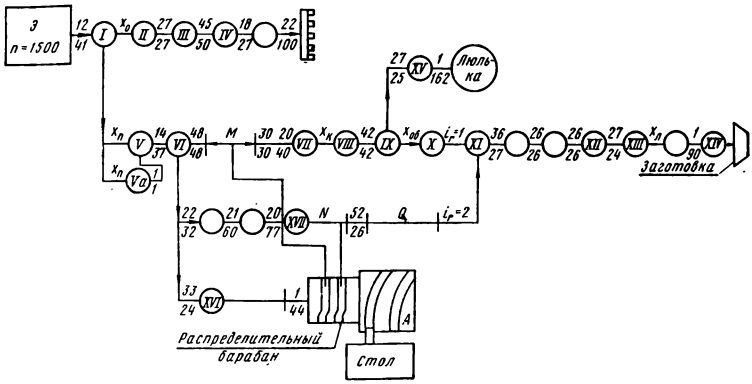


Рис 104. Структурная схема зуборезного станка 5А27С1

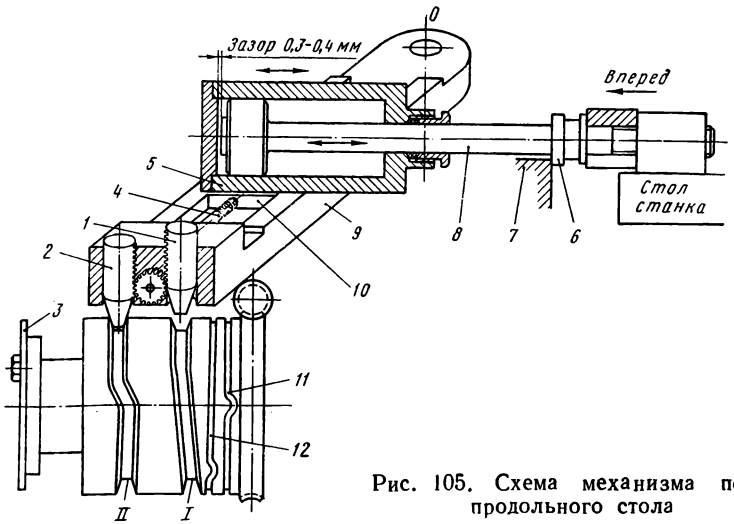


Рис. 105. Схема механизма подач продольного стола

1 : 44, червячное колесо этой пары закреплено на корпусе барабана и приводит его во вращение.

Один оборот барабана подач соответствует одному циклу. Вращение барабана осуществляет в процессе нарезания перемещение продольного стола.

В рабочее положение стол подводится при помощи гидросистемы. Для перемещения стола влево в положение начала рабочего хода

рукоятка *17* (см. рис. 102) поворачивается влево. Тогда масло в гидросистеме под давлением подается в правую полость цилиндра *5* (рис. 105) гидросистемы, а левая соединяется с резервуаром. Поршень перемещается влево, пока не прижмется к крышке цилиндра. Вместе с поршнем при помощи штока *8*, соединенного со столом, перемещается стол. Дальше стол может перемещаться только вместе с цилиндром при помощи механизма подач (барабана, ролика и кулисы).

На барабане имеется две канавки: *I* для чернового нарезания без обкатки и *II* для чистовой обработки зубьев и чернового нарезания с обкаткой. В каждую из этих канавок может заходить один соответствующий ролик *1* или *2*. Ролики между собой сблокированы: при опускании одного второй поднимается и находится вне канавки. При вращении барабана криволинейная канавка его перемещает ролик и заставляет кулису *9* поворачиваться вокруг оси *O*. Кулиса при помощи кулисного бруска (камня) *10* перемещает цилиндр *5* вдоль его оси. Расстояние от бруска до оси *O* можно изменять вращением винта *4* и устанавливать необходимую длину хода цилиндра. При перемещении цилиндра вместе с ним перемещается поршень со штоком и стол.

При черновом нарезании без обкатки ролик *1* вводится в *I* канавку, которая перемещает его и поворачивает кулису; стол постепенно подходит к люльке, пока резцы не нарежут полную глубину впадины между зубьями.

При чистовой обработке зубьев или при черновом нарезании с обкаткой ролик *2* входит в канавку *II*, которая поворачивает кулису сразу и стол перемещается быстро на глубину впадины между зубьями до упора муфты *6* в станину *7*. После этого барабан перемещает цилиндр еще на 0,3—0,4 *мм* и между поршнем и крышкой цилиндра образуется зазор. Так как стол упирается в станину, то его положение постоянно и не зависит от точности изготовления канавки на барабане.

После обработки впадины канавка барабана при помощи ролика перемещает кулису с цилиндром и поршнем вправо, стол отводит заготовку в положение для нарезания следующей впадины зубьев и поворачивает кулачок *3* счетчика числа обработанных зубьев. Дальше начнется второй цикл работы.

Если надо отвести заготовку дальше от головки, рукоятку *17* (см. рис. 102) поворачивают и устанавливают в среднее положение, масло начнет поступать в левую полость цилиндра, а из правой уходить в резервуар. Поршень перемещается (без цилиндра) вправо и отодвигает стол от резцовой головки.

Распределительный барабан расположен рядом с барабаном подачи и совершает один оборот за один цикл. На нем имеется две канавки *11* и *12* (см. рис. 105). Одна из них служит для перемещения реверсивной муфты *M* (см. рис. 103), а другая для перемещения втулки *N*, включающей и выключающей механизм деления. На барабане установлен кулачок *3* (см. рис. 105), приводящий в действие счетчик *C* (см. рис. 103) числа обработанных зубьев. Когда счетчик отсчитает уста-

новленное число, главный электродвигатель выключается и станок останавливается.

Цепь III. Качание люльки. Вал *VI* — люлька. Люлька получает качательное движение от вала *VI*, через который передается движение барабану подачи. На этом валу закреплены цилиндрические зубчатые колеса *48* и *30*. Колесо *48* сцепляется с таким же колесом *48*, насаженным свободно на валу *VII*, а колесо *30* через пару колес *30* и *20*, закрепленных на дополнительном валике, сцепляется с цилиндрическим колесом *40*, также свободно насаженным на валу *VII*. Следовательно, колеса *48* и *40* на валу *VII* вращаются в разные стороны. Между этими колесами на валу *VII* установлена реверсивная муфта *M*, управляемая распределительным барабаном и соединяющая поочередно колеса *48* и *40* с валом *VII*.

Реверсивная муфта *M* в течение первой половины оборота распределительного барабана включает колеса *48* : *48*, а в течение второй половины—колеса $\frac{30}{30} \cdot \frac{20}{40}$. При этом вал *VII* вращается то в одну, то в другую сторону. От вала *VII* вращение передается через сменные колеса качания люльки $x_к = \frac{a_з}{b_з}$ валу *VIII* и дальше согласно структурной схеме валу *IX* и через коническую передачу *27* : *25* валу *XV* и червячной паре *1* : *162*. Червячное колесо *162* этой пары закреплено на барабане люльки и вращает люльку то в одну, то в другую сторону. Вращение люльки по часовой стрелке при холостом ходе происходит при передаче движения от вала *VI* к валу *VII* через зубчатые колеса *48* : *48* с передаточным отношением $i=1:1$, а при рабочем ходе — через колеса $\frac{30}{30} \cdot \frac{20}{40}$ с передаточным отношением $i=1:2$. Таким образом, вращение люльки при рабочем ходе происходит в два раза медленнее, чем при холостом.

Цепь IV. Обкатка: люлька — заготовка. Обкатка осуществляется при помощи механизма, связывающего вращение люльки с вращением шпинделя бабки. Качание люльке передается через вал *IX*, связывающий люльку с барабаном подачи *A*. От этого же вала движение передается и заготовке через сменные колеса гитары обкатки $x_{об}$, вал *X*, дифференциал с передаточным отношением $i_г = 1$ и дальше согласно структурной схеме через сменные колеса гитары деления $x_л$ к шпинделю бабки. Таким образом, осуществляется связь по кинематической цепи от люльки через вал *IX* с заготовкой и с барабаном подач. При изменении направления качания люльки заготовка меняет направление вращения. Для согласования вращения люльки и заготовки рассчитывают сменные колеса гитары обкатки $x_{об}$.

Цепь V. Механизм модификации. В некоторых случаях при нарезании зубьев шестерни из полуобкатной пары необходимо изменять профили их (модифицировать) по сравнению с теми, которые получают при обкатке. Для изменения профиля необходимо сообщить люльке дополнительную скорость вращения, кроме той, ко-

торую она имеет по кинематической цепи обкатки, связывающей ее вращение с вращением заготовки. Это дополнительное вращение люльки осуществляется механизмом модификации, передающим движение люльке от вала *XV* через цилиндрические зубчатые колеса *25* : *35*, коническую пару *21* : *25*, сменные колеса $x_м$, червячную передачу *1* : *60* и ролик *r*.

Цепь VI. Деление. Движение делительного механизма осуществляется от вала *VI* и передается через цилиндрические зубчатые колеса *22* : *32*, промежуточные валики и колеса *21* : *60*, согласно структурной схеме, цилиндрической паре *20* : *77*. Колесо *77* этой пары закреплено на валу *XVII* и вращает его в одну сторону. На этом же валу насажена на шпонке перемещающаяся втулка *N*; с другой стороны втулки насажено свободно колесо *52*, сцепляющееся с колесом *26*, соединенным с корпусом *Q* дифференциала.

При рабочем ходе станка втулка *N* отведена влево и колесо *52* не включено с втулкой и не вращается. Корпус дифференциала при помощи рычагов втулки *N* заперт. В момент, когда резцовая головка закончит проход во впадине зубьев и заготовка отодвинется от нее, распределительный барабан при помощи ролика, входящего в один из его пазов, и рычагов перемещает втулку *N* вправо и соединяет ее с колесом *52*. Одновременно рычаги этой втулки освобождают корпус *Q* дифференциала и передача *52* : *26* поворачивает корпус. Механизм втулки *N* устроен так, что позволяет корпусу дифференциала сделать только один оборот, после чего он опять запирается, а втулка отходит влево и выходит из соединения с колесом *52*; механизм деления снова остается неподвижным до следующего переключения. Так как передаточное отношение дифференциала $i_r=2$, то за один оборот корпуса дифференциала вал *XI* сделает два дополнительных оборота, которые складываются с основным вращением его. Дополнительное вращение передается от вала *XI* по кинематической цепи деления согласно структурной схеме через гитару деления $x_л$ к шпинделю бабки. Два дополнительных оборота вала *XI* должны соответствовать повороту заготовки на один зуб. Такое соответствие вращения достигается расчетом сменных колес гитары деления $x_л$. Сменное колесо d_2 насажено на вал червяка свободно и связывается с ним через мелкозубую муфту *F*. При отсоединении этой муфты от колеса шпиндель бабки можно поворачивать вручную червячной парой без вращения механизма цепи деления.

При регулировке резцов в головке и при других наладочных операциях необходимо поворачивать механизм станка вручную. Для этой цели имеется маховичок, насаженный на вал, который может включаться при помощи зубчатой муфты и зубчатого колеса *13*, сцепляющегося с колесом *35*. Вращением маховичка приводится в движение весь механизм станка. Если необходимо вращать только резцовую головку, то рукояткой *P* отключается колесо *14* и вращением маховичка приводится в движение только резцовая головка.

§ 40. НАЛАДКА СТАНКА 5А27С1 ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчеты при наладке

При нарезании круговые зубья могут получаться с пятном контакта излишне длинным или очень коротким. Кроме того, пятно может располагаться наискось: на выпуклой стороне у большого торца ближе к головке зуба, а у малого — ближе к ножке (рис. 106); на вогнутой стороне, наоборот: у большого торца ближе к ножке, а у малого ближе к головке, как показано пунктиром.

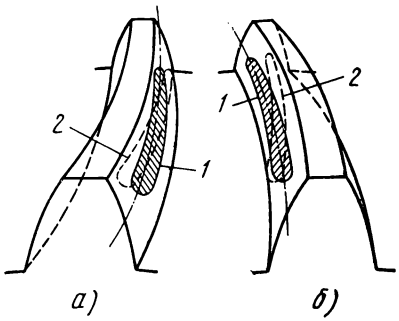


Рис. 106. Схема расположения пятна контакта на профилях зубьев:

а — выпуклая сторона, *б* — вогнутая сторона; *1* — правильное расположение пятна контакта — сплошная линия, *2* — диагональное расположение пятна — пунктирная линия

Пятно контакта может также неправильно располагаться по длине или высоте профиля зубьев: близко к большому или малому торцу или же к головке или ножке зуба.

Чтобы пятно контакта располагалось правильно, предварительно рассчитывают соответствующие значения для установки механизма станка, а во время наладки при нарезании первого колеса вводят поправки к расчетным величинам.

Вывод формул расчета требует сложных математических вычислений и геометрических построений, а потому при разработке технологического процесса следует составлять карту наладки.

Для расчетов при составлении карты можно пользоваться руководством к станку или специальной литературой*.

Ниже приведены основные формулы расчета наладки.

Расчет сменных зубчатых колес для получения необходимого числа оборотов шпинделя головки. Сменные зубчатые колеса рассчитывают по формуле

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{57,95}.$$

Число оборотов n головки определяют по формуле

$$n = 318\frac{v}{D_0},$$

где v — скорость резания, *м/мин*; D_0— номинальный диаметр резцовой головки.

---

* Кедринский В. Н., Писманик К. М. Станки для нарезания конических зубчатых колес. Машгиз, 1958.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления. Сменные зубчатые колеса гитары деления рассчитывают по формуле

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{30}{z}.$$

Расчет сменных зубчатых колес гитары обкатки. Сменные зубчатые колеса гитары обкатки определяют по формуле

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_c}{75},$$

где z_c — число зубьев производящего колеса.

При черновом нарезании колеса и шестерни и при чистовом нарезании колеса по двустороннему методу число зубьев производящего колеса определяют по формуле (при ортогональной передаче)

$$z_c = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

Для шестерни, нарезаемой односторонними головками, число зубьев z_c определяют при составлении карты наладки.

Расчет сменных зубчатых колес гитары подачи. Эти зубчатые колеса рассчитываются по формуле

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{11{,}55}{t},$$

где t — время одного цикла.

Расчет полного угла качания люльки. Полный угол качания люльки определяют по упрощенной формуле и корректируют при наладке станка:

$$\theta^\circ = 3\left(\frac{355{,}3 \cdot K + 90}{z} - 0{,}8\right)\sin\varphi$$ — при угле зацепления $\alpha_0 = 20^\circ$;

$$\theta^\circ = 3\left(\frac{458{,}4 \cdot K + 90}{z} - 0{,}4\right)\sin\varphi$$ — при угле зацепления $\alpha_0 = 15^\circ$ и 16°

Коэффициент равен $K = \frac{h''}{m}$, где h'' — высота ножки зуба, m — модуль, z — число зубьев, φ — угол начального конуса нарезаемого колеса.

Сменные зубчатые колеса качания люльки определяют по рассчитанной или практически принятой величине угла θ° качания

$$x_к = \frac{a_з}{b_з} = \frac{\theta^\circ}{24}$$

и подбирают из имеющегося комплекта при станке с близким отношением к рассчитанному.

Наладка станка

Станок 5А27С1 налаживается в основном аналогично зубострогальному станку 526.

Настройка кинематических цепей. Настройка цепей заключается в установке сменных колес, принимаемых по карте наладки или определяемых по приведенным выше формулам, и выполняется так же, как на зубострогальном станке 526.

Установка поворотного стола на угол конуса впадины нарезаемого колеса. При чистовом нарезании поворотный стол устанавливают на угол φ_i внутреннего конуса колеса. При черновом нарезании, если глубина впадины не прорезается больше, чем на высоту зуба, угол φ_i берется такой же. Для колес больших модулей ($m>4$) при черновом нарезании разрешается углублять впадину на величину Δh с тем, чтобы облегчить работу резцов чистовой головки. В этом случае угол установки увеличивается на величину

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta h}{L_e} \cdot 3440 \text{ мин } (\Delta h = 0{,}1 - 0{,}3 \text{ мм}).$$

Для вращения поворотного стола ослабляют гайки, скрепляющие его с продольным столом, и вращают квадрат, связанный с зубчатым колесом, сцепленным с круговым зубчатым сектором продольного стола. При вращении колесо катится по сектору, и стол поворачивается. Угол поворота отсчитывается по шкале, нанесенной на секторе. После поворота стола гайки вновь закрепляют.

Установка бабки с заготовкой в осевом направлении на величину осевой установки *K*. При черновом нарезании колеса и шестерни и при чистовом нарезании колеса по двустороннему методу величина осевой установки K определяется так же, как для прямозубых колес.

При чистовом нарезании шестерни с устранением диагональности контакта к величине осевой установки прибавляется и отнимается величина поправки ΔK, рассчитываемая при составлении карты наладки. Величина осевой установки бабки составляет: для вогнутой стороны зубьев шестерни $K_e = K_1 - \Delta K$, для выпуклой $K_i = K_1 + \Delta K$.

Для перемещения бабки в осевом направлении ослабляют гайки, крепящие ее к поворотному столу, и вращают квадрат. Величина перемещения отсчитывается по шкале и нониусу на корпусе бабки. После установки бабки гайки вновь закрепляют.

Установка барабана подач. При установке барабана подач ролик вводится в *I* или *II* канавку (см. рис. 105), в зависимости от вида обработки (с обкаткой или без обкатки). Для установки ролика отжимают винт и поворачивают валик, перемещающий ролик; после чего винт снова зажимают.

Установка длины хода продольного стола. Длину хода стола устанавливают при помощи винта *4* (см. рис. 105). Винты зажима и регулировки перемещения стола находятся с правой стороны рядом с барабаном подач. Зажимной винт отпускают и при вращении винт *4* пере-

мещает брусок *10* до установки указателя шкалы на деление, соответствующее величине *l* отвода стола, после чего винт снова зажимают.

Установка резцовой головки и регулировка резцов. Для установки головки и проверки резцов шпиндель головки при помощи вращения люльки и эксцентрика помещают в удобное положение (выше центра люльки). Перед установкой головки необходимо проверить на маркировке ее индекс и номинальные размеры (соответствуют ли они указанным в карте наладки). Тщательно очистить посадочное отверстие и надеть головку на заплечик шпинделя, затем притянуть винтами к опорному торцу так, чтобы головка плотно сидела на заплечике и торцом упиралась в буртик шпинделя.

После закрепления головки необходимо проверить и отрегулировать резцы. Для этого в люльке, на специальной площадке, укрепляют прибор с индикатором. К ножке индикатора подводят режущую кромку нерегулируемого резца, закрепленного штифтом, и индикатор устанавливают на нуль. При медленном от руки вращении головки (без люльки) каждый резец подводят к ножке индикатора. При прохождении ножки по режущей кромке резца отклонение стрелки индикатора не должно превышать 0,002—0,0025 *мм*. Если же отклонение у каких-либо резцов будет больше, то их регулируют, т. е. отпускают крепежный винт *3* (см. рис. 101) и небольшим поворотом регулировочного винта *7* устанавливают положение резца по диаметру. После регулировки легким ударом медного молотка по вершине резца прижимают его заплечик к торцу корпуса головки и затягивают зажимной винт.

У двусторонних головок регулировку производят для каждой стороны резцов отдельно. После регулировки и закрепления всех резцов их еще раз проверяют и при необходимости дополнительно регулируют.

Установка шпинделя резцовой головки. Шпиндель резцовой голов-

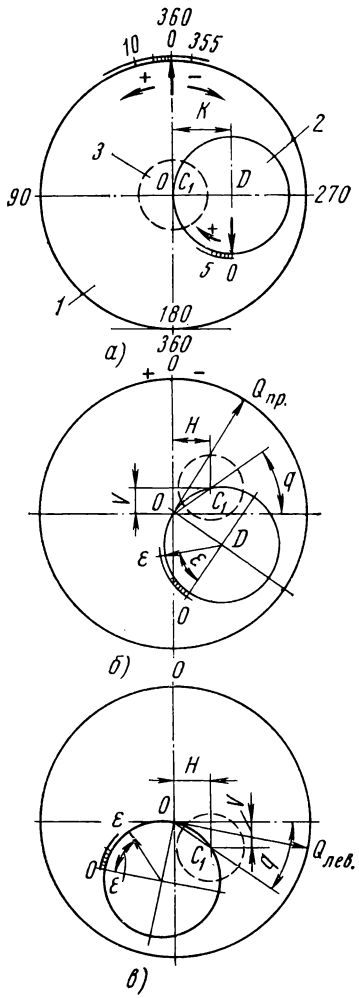


Рис. 107. Схемы установки шпинделя резцовой головки:

1 — люлька, *2* — эксцентрик, *3* — резцовая головка

ки устанавливают поворотом люльки и эксцентрика. На рис. 107, *а* изображено исходное положение: люлька и эксцентрик установлены на нуль. Шкала отсчета поворота люльки нанесена на неподвижном корпусе, а указатель угла поворота закреплен на плоскости люльки; нулевое деление находится вверху по вертикальной оси, проходящей через центр *O* люльки; увеличение угла отмечается на шкале в направлении против часовой стрелки. Люлька от нуля на шкале может поворачиваться в одну и другую сторону.

Ось *D* эксцентрика находится на расстоянии $K=120$ *мм* от центра люльки. Шкала отсчета поворота эксцентрика нанесена на плоскости люльки, а указательная стрелка с нониусом на диске эксцентрика. Нуль шкалы расположен в нижнем положении по вертикальной оси эксцентрика, когда люлька стоит на нуле. Увеличение угла отсчета по шкале идет в направлении по часовой стрелке. Эксцентрик из нулевого положения может поворачиваться только в сторону увеличения угла по шкале отсчета.

Ось *C* шпинделя головки расположена на эксцентрике на расстоянии *K* от его центра *D*. При нулевом положении люльки и эксцентрика ось шпинделя совпадает с осью люльки; точки *O* и *C* совмещаются.

Для нарезания колес с правой спиралью ось *C* шпинделя головки устанавливается выше горизонтальной линии, проходящей через центр люльки (рис. 107, *б*); для нарезания колес с левой спиралью — ниже этой линии (рис. 107, *в*).

Положение оси *C* определяется координатами *H* и *V* относительно неподвижных горизонтальной и вертикальной осей, проходящих через центр люльки. Основные координаты установки определяются по формулам:

$$H_0 = L - R_0 \sin\beta;$$

$$V = R_0 \cos\beta,$$

где *L* — длина образующей делительного конуса до середины зуба; R_0 — номинальный радиус головки; β — угол спирали колеса по середине длины зуба.

Если установку головки корректируют для устранения диагональности контакта, то величины *H* и *V* рассчитывают с поправками.

Ось *C* шпинделя головки занимает необходимое положение при установке люльки по ее шкале на угол *Q* и при установке эксцентрика по его шкале на угол ε.

Угол ε установки эксцентрика определяется по формуле

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \frac{\sqrt{H^2 + V^2}}{2K}$$

Для вычисления угла установки люльки вначале определяют координатный угол *q* по формуле

$$\operatorname{tg} q = \frac{V}{H},$$

а потом рассчитывают величину угла установки. Для колес с правой спиралью угол равен

$$Q_{пр} = 270 + \frac{\varepsilon}{2} + q;$$

для колес с левой спиралью

$$Q_{лев} = 270 + \frac{\varepsilon}{2} - q.$$

Для установки шпинделя головки в требуемое положение надо установить эксцентрик и люльку на рассчитанные углы.

Установка эксцентрика. Отжимают два винта на торце люльки. Затем в квадратное отверстие на торце ее вставляют ключ и поворачивают эксцентрик до совпадения указателя углов отсчета с требуемым делением угла ε на шкале эксцентрика, нанесенной на люльке, после чего винты вновь закрепляют.

Установка люльки на угол *Q*. После включения станка барабан подач устанавливают на нуль (поворачивают до совпадения риски на нем с неподвижным указателем,) затем станок останавливают, сменное ведомое колесо b_3 качания люльки снимают (см. рис. 103), на его место на вал *VIII* надевают рукоятку, и люльку вращают с помощью рукоятки до тех пор, пока нониус не покажет на шкале отсчета величину угла Q (см. рис. 107). После этого устанавливают колеса качания $\frac{a_3}{b_3}$ согласно карте наладки.

При пробном пуске станка необходимо проверить полноту обкатки профиля зубьев и отсутствие излишнего качания после выхода из зацепления резцов с зубьями колеса. В случае необходимости увеличивают или уменьшают величину качания люльки подбором другой пары сменных колес качания.

При черновом нарезании зубьев без обкатки барабан подач устанавливают на нуль и вместо колес качания на валы одевают запорный хомут, как на станке 526, и сменные колеса гитары обкатки с любым передаточным отношением.

При черновом нарезании с обкаткой необходимые сменные колеса качания определяют по приведенной формуле $\frac{a_3}{b_3} = \frac{\theta^\circ}{24}$ или согласно карте наладки и устанавливают, как и при чистовом нарезании. Люльку устанавливают на угол Q, а затем практически корректируют. Стол осторожно подводят к люльке и наблюдают за расположением резцов относительно заготовки. Обыкновенно при установке люльки на рассчитанный угол резцы при подходе к заготовке упираются в нее. В этом случае необходимо снять сменные колеса качания, повернуть люльку так, чтобы резцы не упирались в заготовку, а находились около торца, с которого начинается резание, и снова поставить сменные колеса качания. Резцы подводят за заготовку на глубину нарезаемого зуба. Резцы головки в процессе обработки будут постепенно вре-

заться вдоль длины зуба, пока не выйдут из зацепления у другого торца. Если при этом качание люльки окажется недостаточным и обкатка не будет обеспечена полностью, надо увеличить качание люльки; если оно будет излишним, то уменьшить; в том и другом случае надо заменить сменные колеса качания.

Установка центра станка в плоскость, проходящую через вершины резцов. Плоскость, в которой помещаются вершины резцов головки *6* (рис. 108), должна проходить через центр станка. Эта плоскость меняет

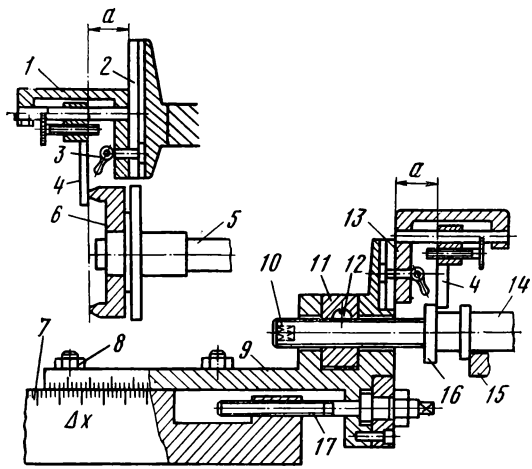


Рис. 108. Установка центра станка в плоскость, проходящую через вершины резцов головки

свое положение по мере переточки резцов, а потому после каждой установки головки на шпиндель *5* и регулировки резцов надо перемещать продольный стол с центром станка до совпадения центра с этой плоскостью.

Для перемещения стола на станке предусмотрено специальное устройство. На люльке имеется площадка *2*, а на кронштейне *9*, связанном со столом, такая же площадка *13*. Расстояние от площадки *13* до противоположного заплечика буртика *16*, когда заплечик другого бурта упирается в жесткий упор станины *15*, равно величине *a*. При совпадении плоскости вершин резцов головки *6* с центром станка расстояние от плоскости вершин резцов до площадки *2* равно той же величине *a*.

Если при переточке резцов расстояние от вершины резцов до площадки *2* уменьшится и плоскость вершин резцов не будет проходить через центр станка, то надо уменьшить расстояние и от площадки *13* до заплечика буртика *16*, т. е. переместить стол с центром станка к заплечику, чтобы центр станка совпадал с плоскостью вершин резцов.

Положение центра станка регулируется прибором *1*. Прибор устанавливается на площадку *2* люльки и закрепляется рычагом *3*, соединенным с болтом, головка которого входит в паз площадки. Микрометрическим винтом язычок *4* прибора перемещается до соприкосновения с вершинами резцов, при этом расстояние от площадки до резцов будет равно какой-то величине a_1, аналогичной величине a. После этого снимают прибор и, не изменяя расстояния от опорной плоскости прибора до язычка, устанавливают его на площадке *13*, и вращают шток *14* рукояткой, вставленной в шестигранник гнезда *10*. На штоке имеется резьба, при вращении его перемещается гайка *11*, соединенная с кронштейном стола. Стол с центром станка перемещается до тех пор, пока язычок *4* прибора не коснется заплечика *16*, т. е. когда расстояние от площадки до задней стороны заплечика не будет равно той же величине a_1, что и расстояние от площадки *2* до вершины резцов, и центр станка совместится с плоскостью, проходящей через вершины резцов. Установка стола фиксируется винтом *12*, сжимающим гайку на резьбе винта *10*.

При наладке станка для устранения диагональности контакта или для регулировки расположения пятна контакта необходимо смещать центр станка с плоскости вершин резцов на величину Δx. Такое смещение называется смещением скользящей базы. Стол *7* с центром станка смещается относительно кронштейна *9*. Отпускают гайку *8* и вращают винт *17*, смещающий стол на величину Δx, отсчитываемую по шкале с нониусом. После смещения стола гайки *8* зажимают. Для отсчета величины смещения от нуля шкалы стола необходимо перед регулировкой положения центра стола нуль нониуса кронштейна *9* совместить с нулем шкалы стола при помощи винта *17*.

Проверка правильности набора сменных зубчатых колес гитар деления и обкатки. Эта проверка выполняется так же, как и на зубострогальном станке 526. Величины проверочных углов указаны в карте наладки. Обыкновенно величину угла поворота люльки при проверке сменных колес обкатки принимают: для нарезаемой шестерни с числом зубьев $z_1 \leqslant 12$; $\omega_1 = 16°$; с числом зубьев $z > 12$; $\omega_1 = 20°$. Для колеса угол поворота люльки принимается $\omega_2 = 30°$. Углы ψ поворота шпинделя бабки определяются в зависимости от угла поворота люльки по формуле $\psi = \omega \frac{z_c}{z}$. Число зубьев z_c производящего колеса для шестерни принимается то же, что и для обкатки, т. е. с учетом поправок для выпуклой и вогнутой сторон отдельно.

Разделение припуска при чистовом нарезании для колеса и шестерни выполняется по разному. И в том и другом случае люлька устанавливается на половину угла поворота.

При нарезании зуба двусторонней головкой одновременно с обеих сторон после установки и закреплении колеса его подводят к резцам головки. Затем разъединяют мелкозубую муфту *F* (см. рис. 103) и шпиндель при помощи делительного червяка поворачивают так, чтобы резцы обеих сторон головки касались одного и другого профиля предварительно нарезанной впадины колеса. После этого сцепляют муфту

F со шпинделем и производят нарезание. Для установки последующих заготовок в такое же положение делают на них фиксирующий паз или отверстие или же устанавливают прибор для разделения припуска, как указано при описании зубострогального станка 526.

При чистовом нарезании шестерни каждая сторона зубьев нарезается отдельно двусторонней или односторонней головкой. Заготовку подводят к резцам, вводят резцы во впадину, расцепляют муфту F и поворачивают заготовку до соприкосновения резцов с той стороной зубьев, которая будет обрабатываться. После этого отводят стол назад и поворачивают заготовку к резцам той стороной, которая подлежит обработке, отсчитывая поворот по делениям лимба муфты, число которых определяют по формуле

$$n = \frac{\Delta W}{\Delta S},$$

где ΔW — припуск на обе стороны зуба под чистовую обработку; ΔS — величина изменения толщины зуба при повороте на одно деление, указываемая в карте наладки или рассчитываемая по формуле $\Delta S = 0{,}000194\ d_д \cdot \cos \beta_e$, где $d_д$ — диаметр делительной окружности; β_e — угол спирали у большого торца.

Если обе стороны зубьев шестерни обрабатываются одна за другой, то эта операция выполняется и для другой стороны. Если же обрабатывается у всей партии вначале одна сторона зубьев, а затем другая, то после обработки первой заготовки надо использовать прибор для разделения припуска или последующие заготовки устанавливать по фиксирующему пазу или шпонке.

Гипоидные конические колеса с круговыми зубьями нарезают также резцовыми головками, но со специальными резцами, имеющими, кроме номерной поправки (см. § 37), еще и дополнительную поправку углов профиля. Многие наладочные установки станка (осевая установка бабки, смещение стола, угол установки люльки, число зубьев производящего колеса, установка резцовой головки) при нарезании гипоидных колес рассчитывают по формулам, отличным от формул расчета для обыкновенных конических колес с круговыми зубьями, но наладка этих установок выполняется одинаково.

Ввиду сложности расчетов должна быть составлена карта наладки при разработке технологического процесса. По величинам, указанным в карте наладки, выполняется наладка станка: устанавливают сменные зубчатые колеса гитары обкатки, поворачивают люльку на угол качания, устанавливают эксцентрик барабана головки и т. д. Кроме того, ось шпинделя бабки изделия смещают в вертикальном направлении на величину гипоидного смещения шестерни.

§ 41. ЗУБОРЕЗНЫЙ СТАНОК 528

Устройство станка

По внешнему виду, расположению и взаимодействию узлов станок модели 528 (рис. 109) аналогичен станку 5А27С1, механизм же передачи движения к отдельным узлам устроен иначе.

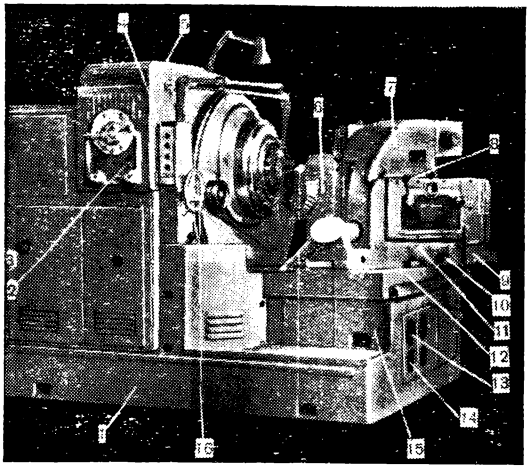


Рис 109 Общий вид зуборезного станка модели 528:

1 — станина, *2* — рукоятка перемещения продольного стола, *3* — счетчик числа нарезанных зубьев, *4* — кнопочная станция, *5* — корпус люльки, *6* — вертикальный суппорт, *7* — бабка изделия, *8* — рукоятка гидрозажима, *9* — поворотный стол, *10* — валик для перемещения бабки изделия по направляющим поворотного стола, *11* — шкала осевой установки бабки изделия, *12* — продольный стол, *13* — главный выключатель, *14* — выключатель насоса охлаждения, *15* — постель станины, *16* — маховичок для ручного вращения механизма станка

Станок имеет гидросистему для выполнения вспомогательных движений: отвода стола с бабкой в положение для установки заготовки и подвода в рабочее положение; зажима заготовки на оправке; переключения фрикционной муфты быстрого хода и поддержания давления в механизме модификации.

Питание гидросистемы осуществляется насосом, получающим вращение от отдельного электродвигателя.

Отвод продольного стола для установки заготовки и возвращения его в рабочее положение осуществляются поворотом специальной рукоятки. Заготовка в шпинделе бабки зажимается под давлением масла, поступающего по гибкому шлангу в зажимной патрон, расположенный сзади шпинделя.

Направление вращения электродвигателя при применении правых и левых головок изменяется поворотом переключателя, расположенного рядом с главным выключателем.

Проворачивание механизма станка вручную при наладочных операциях осуществляется маховичком *16*, который соединяется при помощи двух конических пар с центральным валом (эти пары на кинематической схеме не показаны). Для включения ручного привода поворачивают рукоятку, расположенную под крышкой выше счетчика *3*. Эта рукоятка сблокирована с пусковой кнопкой таким образом, что

включить вращение главного электродвигателя можно только при выключенном ручном приводе.

Вращение люльки и заготовки на этом станке происходит иначе, чем на станке 5А27С1. Люлька вращается в одну и другую сторону: при рабочем ходе против часовой стрелки, а при холостом — по часовой стрелке. Заготовка все время вращается в одну сторону в соответствии с направлением вращения люльки при рабочем ходе, т. е. против часовой стрелки, если смотреть со стороны заднего конца шпинделя бабки. После рабочего хода заготовка отходит от резцов, люлька изменяет направление вращения, а заготовка продолжает вращаться в том же направлении и поворачивается на определенное число зубьев, устанавливаемое при наладке станка. При новом подходе заготовки к резцам последние прорежут новую впадину (не обязательно соседнюю). Такой принцип работы обеспечивает более точное расположение зубьев, так как механизм деления все время вращается в одну сторону и в нем не появляются зазоры, которые всегда имеют место при изменении направления вращения.

На станке можно производить черновое и чистовое нарезание как с обкаткой, так и по методу врезания. Черновое нарезание с обкаткой выполняется при угле начального конуса нарезаемых колес $\varphi \leqslant 60°$; если же $\varphi > 60°$, то зубья нарезаются по методу врезания без обкатки. Чистовое нарезание колеса и шестерни, как правило, производится с обкаткой. При угле начального конуса $\varphi > 50°$ колеса можно вести чистовое нарезание методом врезания, но тогда зубья сопрягаемой шестерни надо нарезать с обкаткой при настроенном механизме модификации.

При обработке методом врезания выполняются следующие движения люльки и стола: подвод стола с бабкой в рабочее положение; постепенное приближение стола с заготовкой к резцам головки и врезание их на заданную глубину (в процессе врезания происходит незначительное вращение люльки и заготовки для того, чтобы после прорезания одной впадины в заготовке она повернулась на один зуб и резцы стали прорезать соседнюю впадину); отвод стола и изменение направления вращения люльки (холостой ход и рабочий ход).

Полный цикл нарезания с обкаткой осуществляется в таком порядке: сначала стол подводят к заготовке до расположения вершин резцов на уровне глубины впадин нарезаемых зубьев; после этого выполняют рабочую обкатку (люлька вращается против часовой стрелки, заготовка вращается соответственно вращению люльки, стол при этом стоит неподвижно); затем стол отводят и меняют направление вращения люльки (холостой ход), заготовка при этом вращается в том же направлении, пока не повернется на рассчитанное число зубьев, и изменяется направление вращения люльки (рабочий ход).

Кинематическая схема станка

Передача движений механизмами станка и взаимодействия отдельных его частей осуществляются в соответствии с кинематической схемой, приведенной на рис. 110, и структурной — на рис. 111.

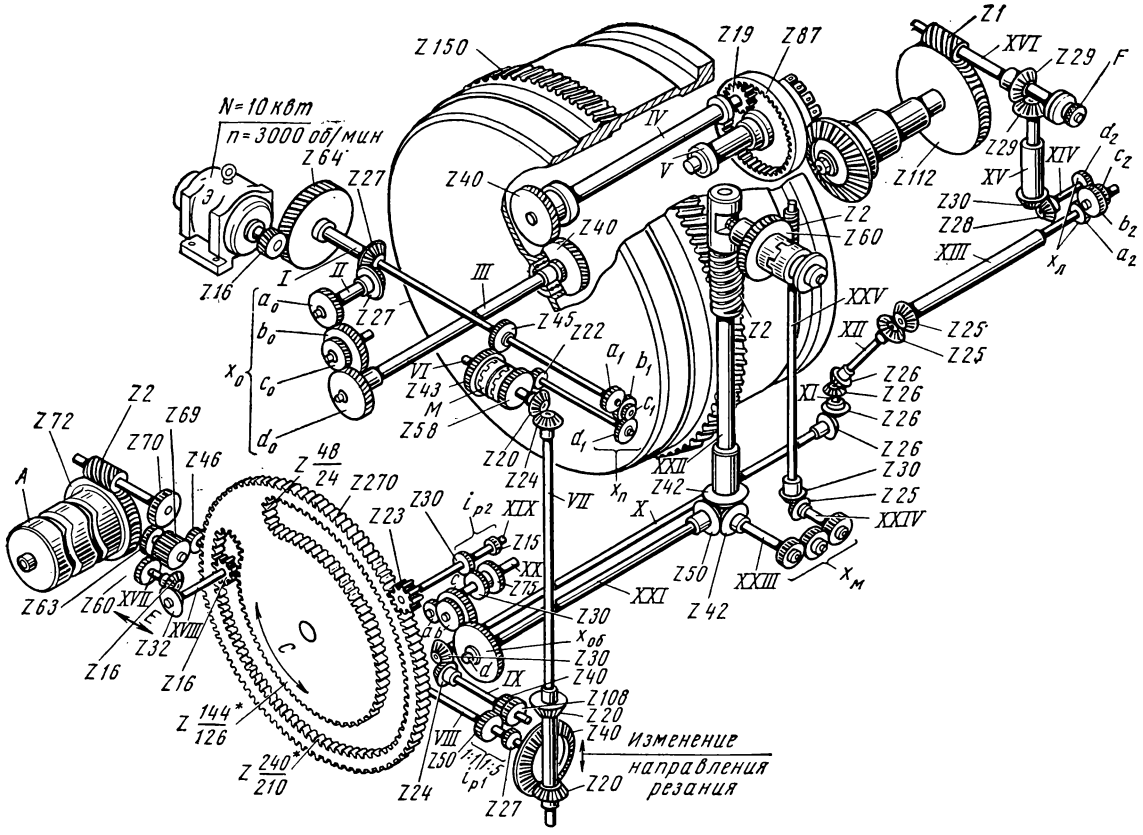


Рис. 110. Кинематическая схема зуборезного станка 528

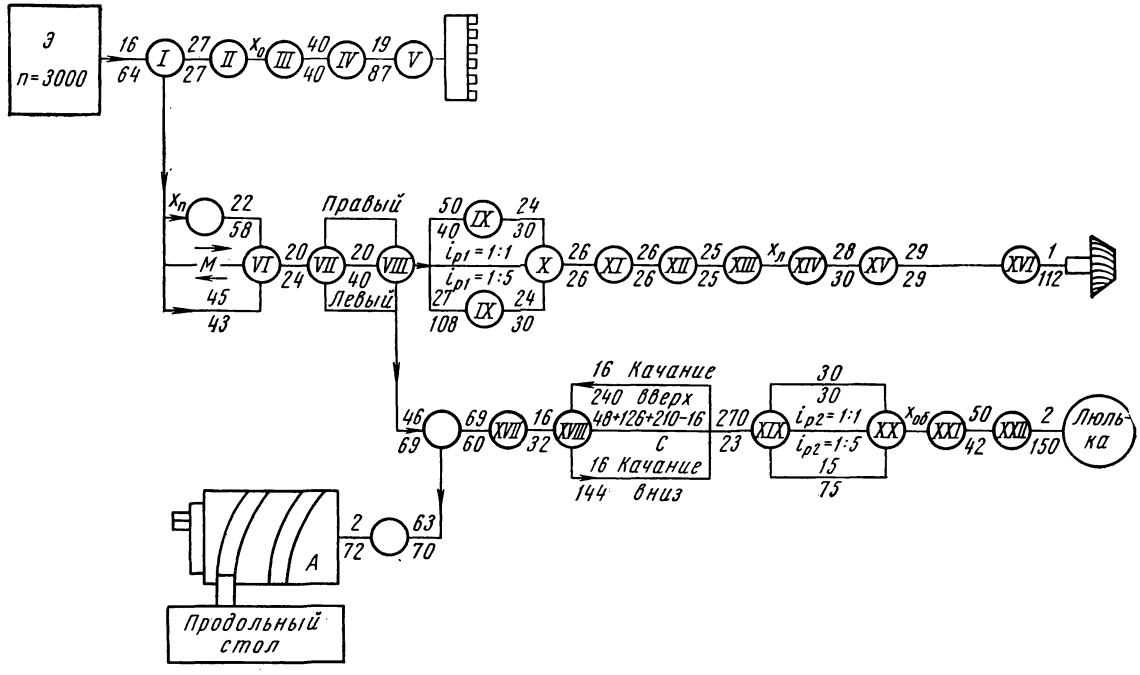


Рис. 111. Структурная схема зуборезного станка 528

Цепь I. Вращение головки. От электродвигателя *Э* к резцовой головке движение передается при помощи валов и передач, среди которых имеются сменные зубчатые колеса с передаточным отношением x_0; путем подбора колес получают различное число оборотов резцовой головки.

Цепь II. Подача (вращение барабана *А*). При работе на станке 528 подачей условно называется время рабочего хода в секундах при обработке одного зуба. В других, ранее рассмотренных станках, подачей называлось время одного оборота барабана подач, т. е. время полного цикла обработки одного зуба.

Движение от электродвигателя передается через вал *I* и дальше, как указано в структурной схеме, к барабану. В этой цепи имеется гитара подач с передаточным отношением $x_п$ для изменения величины подачи, передающая движение от вала *I*. На валу *VI* установлена муфта *М*, переключающая механизм станка (кроме вращения головки) на медленный и быстрый ходы. При включении муфты вправо она вводит в зацепление зубчатые колеса *22* : *58* и передача вращения от вала *I* к валу *VI* происходит через гитару подачи и эти зубчатые колеса. При включении муфты влево происходит более быстрое вращение механизма (холостой ход) через передачу *45* : *43*, минуя гитару подач. Это вращательное движение постоянно и не зависит от наладки станка. Муфта *М* переключается гидросистемой, которая управляется сектором, установленным на диске барабана *А*. Дальше от вала *VI* через коническую пару *20* : *24* вращение передается валу *VII*. На этом валу на шпонке установлена втулка и два одинаковых конических колеса *20*. Втулка может перемещаться вниз и вверх, вводя в зацепление одно из колес с коническим колесом *40*, закрепленным на следующем валу *VIII*. При переключении вращения электродвигателя, в случае применения левой головки, изменяется и направление вращения вала *VII*. Чтобы при этом механизм станка (кроме вращения головки) всегда вращался в одну сторону, переключаются колеса *20*. При работе правой головкой должно быть включено верхнее колесо, при работе левой головкой включается нижнее, и тогда при изменении направления вращения вала *VII* колесо *40*, вал *VIII* и механизм станка не меняют направления вращения.

От вала *VIII* через передачи *46* : *69* и *63* : *70* получает вращение червяк *2* и червячное колесо *72*, а с ним и барабан *А*. Для перемещения стола при работе с обкаткой или по методу врезания барабан имеет две канавки, в которые заходит один из роликов. При помощи канавок и роликов барабан подводит стол с бабкой в рабочее положение и возвращает обратно. Устройство механизма отвода стола такое же, как у станка 5А27С1 (см. рис. 105). Барабан делает точно один оборот за время обработки одного зуба.

Цепь III. Вращение заготовки. Вращательное движение заготовки осуществляется от вала *VIII* , входящего в цепь передачи вращения барабану. Таким образом, вращение барабана и заготовки согласованы между собой. На валу *VIII* закреплено два зубчатых колеса *50* и *27*, которые могут входить в зацепление соот-

ветственно с колесами *40* и *108* передвижного блока, насаженного на вал *IX*, осуществляя передачи *50* : *40* или *27* : *108*, затем движение передается через коническую пару *24* : *30* валу *X*.

Передаточное отношение в первом случае получится:

$$\frac{50}{40} \cdot \frac{24}{30} = 1 : 1,$$

а во втором

$$\frac{27}{108} \cdot \frac{24}{30} = 1 : 5,$$

при этом передаточное отношение редукции деления соответственно $i_{р1}=1 : 1$ и $i_{р1}=1 : 5$. При нарезании с обкаткой включается редукция деления $i_{р1}=1 : 1$, а при нарезании методом врезания редукция деления $i_{р1}=1 : 5$.

От вала *X* движение передается согласно структурной схеме через гитару деления $x_л$ заготовке. Колесо *29* свободно насажено на валу *XVI* и связывается с этим валом через мелкозубую муфту *F*. Если отсоединить от колеса эту муфту, то червячную пару на шпинделе бабки можно поворачивать вручную без вращения механизма цепи.

Цепь IV. Качание люльки (вал *VIII* — люлька). Механизм качания люльки получает движение от того же вала *VIII*, который входит в кинематические цепи вращения барабана и вращения заготовки, а поэтому все эти три движения согласованы между собой. На левом конце вала *VIII* насажено колесо *46*, передающее движение через широкое паразитное колесо *69* колесу *60* на валике *XVII*. От этого валика через коническую передачу *16* : *32* вращение передается валику *XVIII* и колесу *16*, которое сцепляется с составным зубчатым колесом.

Составное колесо имеет зубья в торцовом углублении диска *C* и состоит из четырех частей венца: первая часть венца внутреннего зацепления имеет 210 зубьев (полная окружность этого венца имела бы 240 зубьев); вторая часть венца наружного зацепления имеет 126 зубьев (полная окружность его имела бы 144 зуба); третья и четвертая части — замыкающие венец при переходе от внутренней части его к наружной. Каждая из этих частей составляет по полуокружности и имеет по 24 зуба. Все части венца вместе образуют замкнутый зубчатый контур.

Диск *C* может поворачиваться вокруг своего центра. Цилиндрическое колесо *16* всегда вращается в одном направлении, но так как колесо *16* входит в зацепление то с внутренней частью венца,то с наружной, то оно вращает диск *C* попеременно в одну и другую сторону. Изменение направления вращения диска происходит в то время, когда колесо *16* входит в зацепление с замыкающими частями венца при повороте диска в крайние положения. При этом колесо *16* катится по замыкающей части венца, а ось его перемещается концентрично окружности этого венца сначала в одну сторону, а при подходе к другой замыкающей части — в другую. Для осуществления такого перемещения ка-

ретка, в которой смонтировано колесо *16*, перемещается вместе с валиками *XVII* и *XVIII* относительно диска *C* то в одном, то в другом направлении до тех пор, пока колесо не войдет в зацепление с внутренней или наружной частью венца.

Показанная на структурной схеме сумма 48+126+210—16=368 зубьев составного колеса определяет число оборотов сцепляющегося с ним колеса *16* за время полного качания диска *C*, т. е. за один цикл $\frac{n_к}{1} = \frac{368}{16} = 23$.

На наружном венце диска *C* имеется 270 зубьев, сцепляющихся с колесом *23*, закрепленным на валу *XIX*. На этом же валу закреплены колеса *30* и *15*, которые попеременно входят в зацепление с колесами блока *30* и *75*, перемещающегося по валу *XX* и образующего два передаточных отношения редукции обкатки.

Редукция $i_{р2} = \frac{30}{30} = 1:1$ включается при нарезании зубьев с обкаткой, а редукция $i_{р2} = \frac{15}{75} = 1:5$ — при нарезании методом врезания.

Дальше движение передается, согласно структурной схеме, через гитару обкатки $x_{об}$ к люльке.

Как видно из структурной и кинематической схем, диск *C* составного колеса в передаче вращения заготовке не участвует, а качание люльке передается через этот диск. Поэтому заготовка не меняет направления вращения: она все время вращается в сторону, соответствующую рабочему движению люльки, люлька же вращается то в одну, то в другую сторону с изменением направления вращения диска.

При зацеплении колеса *16* с внутренним венцом составного колеса происходит рабочее качание люльки снизу вверх, при зацеплении с наружным венцом сверху вниз (холостой ход). Так как на внешнем венце в углублении составного колеса зубьев меньше чем на внутреннем, то при холостом ходе диск *C*, а значит и люлька вращаются быстрее, чем при рабочем. Кроме того, при холостом ходе механизм станка переключается муфтой *M* на быстрое вращение.

§ 42. НАЛАДКА СТАНКА 528 ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчеты при наладке станка

Здесь приведены только расчеты, отличающиеся от расчетов станка 5А27С1. Карта наладки для обоих станков одинакова, только для станка 528 дополнительно заполняется передаточное отношение редукционного механизма и указывается число *q* пропускаемых зубьев.

Расчет сменных зубчатых колес для изменения числа оборотов шпинделя головки. Такой расчет выполняют по формуле

$$x_0 = \frac{a_0 \cdot c_0}{b_0 \cdot d_0} = \frac{n}{163,8}.$$

Кроме того, в руководстве к станку имеется таблица выбора сменных колес в зависимости от заданного числа оборотов n шпинделя головки.

Расчет сменных зубчатых колес гитары подач. Сменные зубчатые колеса гитары подач рассчитывают по формуле

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{13,5}{t_р}.$$

где $t_р$— время рабочего хода барабана.

В руководстве к станку приведена таблица сменных колес гитары подач, составленная с учетом числа оборотов электродвигателя $n_э = 3000$ оборотов в минуту, которой можно пользоваться при заданном времени рабочего хода $t_р$.

Расчет числа зубьев заготовки, пропускаемых при делении. Число пропускаемых зубьев определяется по формуле

$$q = \frac{\theta^\circ z_c}{160}.$$

Величину угла θ° качания люльки вычисляют по формулам, приведенным в специальной литературе*.

Определение числа q по приведенной выше формуле требует сложных вычислений, связанных с нахождением угла качания люльки θ°. Поэтому в руководстве к станку даются таблицы и графики, по которым можно определить число q без вычислений. Этот угол θ° можно также ориентировочно вычислить по той же формуле, что и для станка 5А27С1, а потом рассчитать по нему величину q и при наладке станка величину эту откорректировать практически.

Число пропускаемых зубьев q не должно иметь общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса, чтобы при делении резцы головки не попали в прорезанную уже впадину. Для быстрой ориентации при выборе этого числа в руководстве к станку приводится таблица, в которой указаны числа, не кратные зубьям колес.

Число зубьев z_c производящего колеса определяется так же, как и для станка 5А27С1.

Расчет сменных зубчатых колес гитары деления. При нарезании методом обкатки за один цикл барабан сделает 1 оборот, а заготовка, имеющая z зубьев, повернется на q пропускаемых зубьев и сделает $n_з$ оборотов. Отношение этих чисел оборотов будет

$$\frac{n_з}{1} = \frac{q}{z}.$$

При нарезании методом обкатки редукция деления принимается $P_1 = 1 : 1$.

---

* Кедринский В. Н., Писманик К. М. Станки для нарезания конических зубчатых колес. Машгиз, 1958 (табл. 44).

Отношение чисел оборотов заготовки и барабана по кинематической цепи барабан — заготовка будет

$$\frac{n_з}{1} = \frac{72}{2} \cdot \frac{70}{63} \cdot \frac{69}{46} \cdot \frac{50}{40} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{25}{25} \cdot x_л \cdot \frac{28}{30} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{1}{112};$$

или $\frac{n_з}{1} = \frac{x_л}{2}$.

Сравнивая эти отношения, получим $\frac{x_л}{2} = \frac{q}{z}$, откуда передаточное отношение сменных колес гитары деления будет

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{2q}{z}$$

При нарезании колес методом врезания число пропускаемых зубьев $q=1$ и отношение чисел оборотов $\frac{n_з}{1} = \frac{1}{z}$. Редукция деления принимается $p_1=1:5$ и отношение чисел оборотов по той же цепи получим в пять раз меньше: $\frac{n_з}{1} = \frac{x_л}{10}$. Сравнивая передаточные отношения, получим $\frac{x_л}{10} = \frac{1}{z}$. Сменные колеса деления определяют по формуле

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{10}{z}$$

Расчет сменных зубчатых колес гитары обкатки. Эти сменные колеса рассчитывают по кинематической цепи, связывающей шпиндель бабки (заготовки) с люлькой. Передаточное отношение числа оборотов плоского колеса люльки к числу оборотов заготовки $\frac{n_л}{n_з} = \frac{z}{z_c}$ Это передаточное отношение по кинематической цепи соблюдается во время рабочего хода, когда шестерня *16* входит в зацепление с частью составного колеса, имеющего внутренние зубья, в полной окружности которого 240 зубьев, и отношение их равно $\frac{16}{240}$

При работе методом обкатки редукция деления и обкатки $p_1=p_2=1:1$ и передаточное отношение гитары деления $x_л = \frac{2q}{z}$.

Передаточное отношение по кинематической цепи заготовка — люлька будет

$$\frac{n_л}{n_з} = \frac{112}{1} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{30}{28} \cdot \frac{1}{x_л} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{40}{50} \cdot \frac{46}{69} \cdot \frac{69}{60} \cdot \frac{16}{32} \times$$

$$\times \frac{16}{240} \cdot \frac{270}{23} \cdot \frac{30}{30} \cdot x_{об} \cdot \frac{50}{42} \cdot \frac{2}{150}; \qquad \frac{n_л}{n_з} = \frac{4x_{об}}{7x_л}$$

Сравнивая передаточные отношения $\frac{4x_{об}}{7x_л} = \frac{z}{z_c}$, получим

$$x_{об} = \frac{7x_л z}{4z_c}.$$

Подставляя значение $x_л$, получим передаточное число сменных колес обкатки

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{3{,}5q}{z_c}.$$

При работе методом врезания редукция деления и обкатки $p_1 = p_2 = 1{,}5$ и отношения гитары деления $x_л = \frac{10}{z}$.

Передаточное отношение по кинематической цепи будет

$$\frac{n_л}{n_з} = \frac{112}{1} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{30}{28} \cdot \frac{1}{x_л} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{108}{27} \cdot \frac{46}{69} \cdot \frac{69}{60} \times$$

$$\times \frac{16}{32} \cdot \frac{16}{240} \cdot \frac{270}{23} \cdot \frac{15}{75} \cdot x_{об} \cdot \frac{50}{42} \cdot \frac{2}{150}; \quad \frac{n_л}{n_з} = \frac{4x_{об}}{4x_л}.$$

Сравнивая отношения $\frac{4x_{об}}{7x_л} = \frac{z}{z_c}$, получим $x_{об} = \frac{7x_л \cdot z}{7z_c}$. Подставляя значения $x_л$, получим передаточное отношение сменных колес при нарезании методом врезания

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{17{,}5}{z_c}.$$

Число зубьев z_c производящего колеса определяется так же, как и для станка 5А27С1.

Для быстрого подбора сменных колес гитары обкатки в руководстве к станку приведены таблицы набора сменных колес в зависимости от соотношения чисел зубьев нарезаемых колес и числа пропускаемых зубьев. Сменные колеса могут быть также определены по приведенным выше формулам методом замены передаточного отношения, как и для нарезания прямозубых конических колес.

Наладка станка

Наладка станка 528 во многом аналогична наладке станка 5А27С1, а потому здесь указываются только некоторые ее особенности.

Переключение редукции. При переключении станка на работу методом врезания, кроме переключения роликов барабана, надо также переключать редукции обкатки и деления с передачи *1 : 1* на передачу *1 : 5*.

Установка сменных колес гитар. Сменные колеса устанавливают в обычном порядке за исключением колес гитары обкатки $x_{об}$ (см. рис. 110). Ведущее колесо *a* этой гитары устанавливают на вал *XX*, связанный по кинематической цепи с заготовкой, а ведомое *d* — на вал *XXI*, передающий движение к люльке.

Переключение направления вращения головки. При использовании левой резцовой головки необходимо переключать направление вращения электродвигателя рукояткой, расположенной рядом с главным включателем станка. Одновременно с этим надо переключать и реверсивные колеса рукояткой, расположенной под щитком станка.

Установка шпинделя. Шпиндель резцовой головки устанавливается относительно заготовки поворотом люльки и эксцентрика, устройство которых в принципе такое же, как и у станка 5А27С1, но расположение шкал отсчета поворота несколько иное (рис. 112). Нуль шкалы отсчета углов поворота люльки находится на корпусе люльки по горизонтальной оси слева. Шкала отсчета углов поворота эксцентрика нанесена на его корпусе, а указательная стрелка отсчета расположена на диске люльки слева от эксцентрика против его горизонтальной оси. Эксцентрик из нулевого положения поворачивается против часовой стрелки в сторону увеличения углов по шкале. Величина эксцентриситета эксцентрика резцовой головки на станке 528 составляет К=170.

На рис. 112, *а* изображено нулевое положение люльки и эксцентрика, а на рис. 112, *б*—установка оси шпинделя резцовой головки при нарезании колеса с правой спиралью; в этом случае ось шпинделя головки должна находиться выше горизонтальной линии. При нарезании колеса с левой спиралью ось шпинделя головки устанавливается в симметричное положение ниже горизонтальной линии (рис. 112, *в*).

Установка эксцентрика. Угол поворота эксцентрика ε и координатный угол q для правой и левой спиралей нарезаемых колес рассчитывается по тем же формулам, что и для станка 5А27С1.

Угол установки люльки определяется по формулам: для колеса с правой спиралью $Q_{пр} = \frac{\varepsilon}{2} - q$,

для колеса с левой спиралью

$$Q_{лев} = \frac{\varepsilon}{2} + q.$$

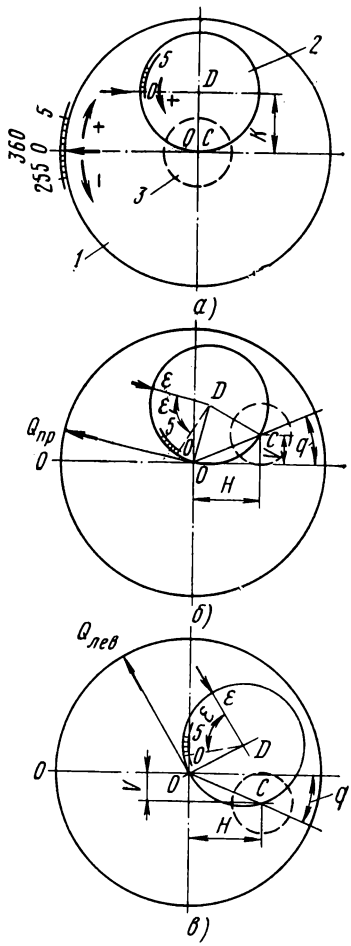


Рис. 112. Схема установки шпинделя резцовой головки:
1 — люлька, *2* — эксцентрик, *3* — резцовая головка

Положение оси шпинделя резцовой головки определяется также координатами H и V, а установка ее на эти координаты осуществляется поворотом эксцентрика и люльки на углы ε и Q.

Установка люльки на угол *Q* (см. рис. 107). Для установки люльки на угол необходимо включить станок и следить за тем, чтобы риски

на диске задней стороны барабана станка находились против указателя. При работе с обкаткой против указателя устанавливают риску с отметкой «нуль» и надписью «Центр обкатки»; при работе методом врезания устанавливают риску с надписью «Конец врезания». После этого станок останавливают. Снимают колесо *d* гитары обкатки с ведомого валика *XXI* (см. рис. 110), надевают на него ключ и вращают люльку до совпадения указателя шкалы люльки с величиной угла *Q* установки люльки; после этого снова соединяют колеса гитары.

Проверка правильности набора сменных зубчатых колес гитар деления и обкатки. Такая проверка выполняется так же, как на зуборезном станке 5А27С1.

Проверочные углы для гитары деления рассчитывают по формуле

$$\delta = \frac{360^\circ q}{z},$$

а для гитары обкатки по той же формуле, что и для станка 5А27С1. Угол поворота шпинделя

$$\psi = \omega \frac{z_c}{z},$$

причем угол ω поворота люльки для шестерни принимается такой же, как и на станке 5А27С1, а для колеса при редукции 1 : 1 $\omega = 20^\circ$, при редукции 1 : 5 $\omega = 4^\circ 30'$.

Наладка всех остальных узлов: установка заготовки, установка резцовой головки на шпиндель и проверка ее, установка поворотного и продольного столов, осевая установка бабки — ничем не отличается от наладки станка 5А27С1

§ 43. ПРОВЕРКА ПЯТНА КОНТАКТА ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ НА КОНТРОЛЬНО-ОБКАТНОМ СТАНКЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

Устройство контрольно-обкатного станка 5725М

На станке (рис. 113) можно проверять конические колеса с любым расположением осей, а также винтовые колеса и червячные передачи.

В верхней части станины *1* станка имеются две перпендикулярно расположенные горизонтальные направляющие. По направляющим, расположенным справа, перемещается стойка *12* ведущей бабки. Перемещение стойки отсчитывается по шкале перемещений и по лимбу валика *15*. Деления отсчета увеличиваются при перемещении стойки к себе. По вертикальным направляющим стойки может перемещаться вверх и вниз ведущая бабка *10*, перемещение ее отсчитывается по шкале с нониусом и лимбу на валике *14*. Деления на шкале отсчитываются от нуля (от нулевого положения бабки) вверх и вниз. На ведущей бабке устанавливается и может выдвигаться на необходимую величину поперечина *9* с кронштейном и центром для поддержки конца червяка

при контроле червячных передач. Закрепляется ведущая бабка рукояткой *11*.

С левой стороны, по другим горизонтальным направляющим, посредством маховика *16* перемещается в направлении к стойке каретка (стол) *5*; горизонтальное перемещение ее отсчитывается по шкале с нониусом, деления которой увеличиваются в сторону удаления каретки от стойки. Каретка закрепляется винтом *4*.

На верхней плоскости каретки имеются круговые направляющие, на

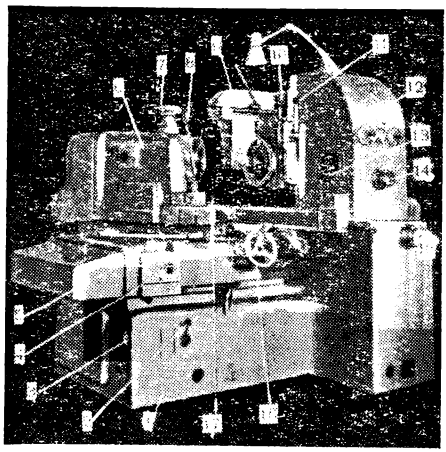


Рис. 113. Общий вид контрольно-обкатного станка 5725М

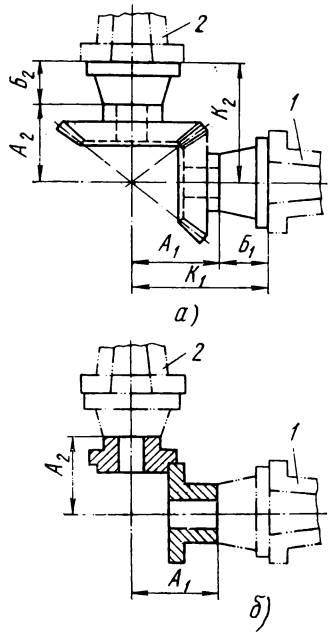


Рис. 114. Установка проверяемых колес на контрольно-обкатном станке:

а — с отчетом по шкалам перемещений бабок, *б* — по установочным дискам: *1* — ведущий шпиндель, *2* — ведомый шпиндель

которых установлен стол *17*. Этот стол вместе с ведомой бабкой может разворачиваться по круговым направляющим на угол, равный углу между осями передач (в пределах от 0 до 180°). На углы 90 и 180° стол устанавливается по специальным упорам, которые вставляются в отверстия плиты стола и фиксируют стол под этими углами. Другие промежуточные значения углов отсчитывают по шкале, нанесенной на круговых направляющих поворотного стола.

На верхней плоскости поворотного стола имеются прямолинейные направляющие, по которым может перемещаться ведомая бабка *6* вдоль оси своего шпинделя под воздействием маховичка *7*.

Пуск и остановка станка осуществляется кнопочной станцией *13*, отключение — пакетным выключателем *3*, изменение числа оборотов электродвигателя — переключателем *2*, торможение вращательного движения ведомой бабки — рукояткой тормоза *8*.

На обкатном станке должны устанавливаться колеса в положение, при котором вершины начальных конусов совпадут с точкой пересечения их осей (рис. 114, *а*), т. е. на расстоянии K_1 и K_2 от торцов шпинделей до точки пересечения осей ($K_1=A_1+Б_1$ и $K_2=A_2+Б_2$). Размеры A_1 и A_2 равны чертежным размерам нарезаемых колес; $Б_1$ и $Б_2$— толщине буртов оправки. Величина K_1 устанавливается в результате перемещения каретки *5* (см. рис. 113) и отсчитывается по шкале ее перемещения; величина K_2 устанавливается перемещением стойки *12* и отсчитывается по шкале ее перемещения и лимбу на валике *15*.

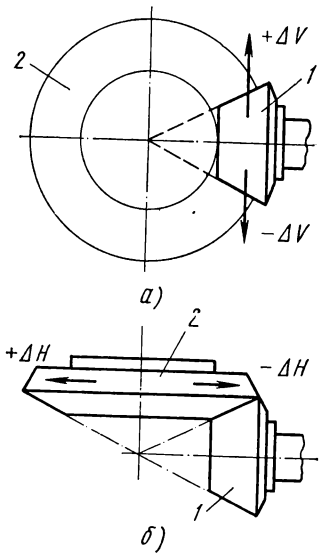


Рис. 115. Смещение осей колес для перемещения пятна контакта:

а — вертикальное смещение оси ведущей шестерни, *б* — горизонтальное смещение оси ведомого колеса

При нарезании значительного количества колес одних размеров целесообразно изготовить специальные установочные диски, посредством которых можно быстро и точно устанавливать взаимное положение шпинделей (см. рис. 114, *б*). Диаметры установочных дисков равны диаметрам начальных окружностей сопрягаемых колес.

В размеры K_1 и K_2 необходимо вносить коррективы в двух случаях: когда на торце одного или обоих колес пары оставляют припуск сверх размеров A_1 или A_2 для последующего шлифования торцов и когда толщина зубьев одного или обоих колес пары нарезана с припуском.

Проверяемую пару колес следует устанавливать на обкатном станке так же, как и при работе, т. е. ведущее колесо (шестерня) на шпинделе ведущей бабки *10*, а ведомое на шпинделе ведомой бабки *6* (см. рис. 113).

Обычно зубчатые конические колеса комплектуют и поставляют парами, у которых правильное пятно контакта на колесе и на шестерне достигается проверкой и исправлением его на шестерне.

Проверка и исправление пятна контакта на зубьях колеса производится в редких случаях — при полной взаимозаменяемости каждой пары сопрягаемых колес.

После установки проверяемых колес станок включают и сопрягаемые колеса приводят во вращение. Для получения отпечатка пятна контакта боковые поверхности зубьев колеса покрывают тонким слоем краски, и колесо при вращении слегка тормозят.

Расположение пятна контакта по высоте профиля зубьев изменяется горизонтальным перемещением каретки ведомой бабки с колесом *2* (рис. 115, *б*). Если колесо *2* отодвигается от вершины конуса шестерни *1*, то изменение установки будет направлено в сторону увеличения делительной шкалы и принимается со знаком плюс ($+\Delta H$), если ось

колеса *2* придвигается к вершине шестерни *1*, то изменение установки направлено в сторону уменьшения деления шкалы и принимается со знаком минус ($-\Delta H$).

Изменение расположения пятна контакта по длине зубьев выполняется вертикальным перемещением ведущей бабки с шестерней *1* (рис. 115, *а*). Смещение оси бабки вверх принимается со знаком плюс ($+\Delta V$), а смещение вниз — со знаком минус ($-\Delta V$).

Наладка станка

Регулировка положения пятна контакта в конических парах с прямыми зубьями. Смещение пятна контакта при проверке на обкатном станке. При горизонтальном перемещении каретки с ведомой бабкой и колесом на величину $+\Delta H$ пятно контакта смещается к ножке зуба, при перемещении каретки на $-\Delta H$ пятно смещается к головке зуба.

При вертикальном перемещении ведущей бабки с шестерней направление смещения пятна контакта по длине зуба зависит от проверяемой стороны. Для верхней стороны зуба, обрабатываемой верхним резцом, перемещение бабки вверх по направлению стрелки $+\Delta V$ смещает пятно к меньшему торцу; перемещение бабки вниз по $-\Delta V$ смещает пятно к бо́льшему торцу. Для нижней стороны зуба, обрабатываемой нижним резцом, наоборот, перемещение бабки вверх на $+\Delta V$ смещает пятно к бо́льшему торцу, а перемещение вниз на $-\Delta V$ перемещает пятно к меньшему торцу.

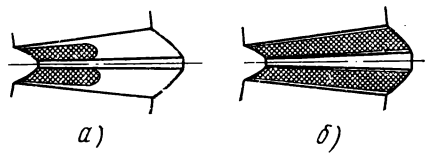


Рис. 116. Правильное расположение пятна контакта на профилях прямозубых колес:
а — при проверке на контрольно-обкатном станке, *б* — при работе под нагрузкой

Регулировка расположения пятна контакта при нарезании. Отпечаток пятна должен располагаться по всей высоте зуба, а по длине ближе к меньшему торцу (рис. 116, *а*). При нагрузке колес в процессе работы вследствие отжима зубьев пятно расположится по всей длине зубьев (рис. 116, *б*).

Нельзя допускать слишком короткого отпечатка у самого края зубьев, в особенности у большого торца, так как при нагрузке зубья будут касаться краями.

При неправильном отпечатке пятна контакта необходимо внести поправку в наладку зубострогального станка.

Изменение расположения пятна контакта по длине зубьев достигается путем изменения установки резцов по высоте (см. рис. 95, *в*) на величину ΔV, полученную на контрольно-обкатном станке при правильном расположении пятна контакта. Чтобы не изменилась толщина зуба в связи с перемещением резцов по высоте, вносится поправка в угол установки сегментов люльки, а именно: $\Delta\omega = 3440\frac{\Delta V}{L}$ *мин*, где L—длина образующей начального

конуса до середины длины зуба. Для смещения отпечатка на величину ΔV к бо́льшему торцу в соответствии со знаком перемещения на обкатном станке резец с резцедержателем надо приблизить к обрабатываемому зубу на величину ΔV, а угол установки сегментов увеличить на величину $\Delta\omega$; для смещения отпечатка к меньшему торцу резцедержатель надо отодвинуть от зуба, а угол установки сегментов уменьшить. Перемещение резцов производится винтом *4* (см. рис. 95, *в*), а величина перемещения отсчитывается по индикатору *7* установочного калибра.

Изменение расположения пятна контакта по высоте профиля зубьев можно осуществить регулированием осевой установки заготовки (изменением величины K, см. рис. 94) или наклоном резцов.

При регулировании осевой установки величина K (см. рис. 94) изменяется на величину $\pm\Delta y = \mp\Delta H$ (см. рис. 115), полученную при проверке расположения пятна на контрольно-обкатном станке, но с обратным знаком.

При $+\Delta H$ величина K должна уменьшиться на $-\Delta y$ и пятно контакта смещается к ножке зуба; при $-\Delta H$ величина K увеличивается на $+\Delta y$ и пятно смещается к головке зуба. Так как при этом заготовка сместится относительно резцов,то они будут заходить во впадину зубьев на бо́льшую величину или не доходить до дна впадины. Чтобы сохранить первоначальную высоту зубьев, резцы перемещают по длине резцедержателя от первоначального их положения и от плоскости ползунов на величину $\Delta x = \pm\Delta y \sin\varphi_i$. При увеличении осевой установки заготовка отодвигается от резцов; отсюда следует, что резцы надо выдвинуть вперед, т. е. величина Δx должна быть со знаком плюс. При уменьшении осевой установки резцы надо отодвинуть назад, а потому величину Δx принимают со знаком минус.

При изменении расположения пятна контакта по высоте зубьев наклоном резцов корректируется угол зацепления α_0 (см. рис. 9). Величина изменения угла в зависимости от перемещения ΔH (рис. 115) каретки на контрольно-обкатном станке выражается формулой:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta H \cos\varphi}{L \operatorname{tg}\alpha_0} 3440 \text{ мин.}$$

Величина угла регулируется перемещением клиньев *8* под резцами (см. рис. 87). Перемещение клина на одно деление изменяет профильный угол на 5 *мин*. Для смещения пятна контакта к ножке зубьев профильный угол надо уменьшить (клин выдвинуть); к головке — увеличить (клин вдвинуть).

Регулировка положения пятна контакта в конических парах с круговыми зубьями. Смещение пятна контакта при проверке на обкатном станке. В конических парах с круговыми зубьями смещение пятна контакта происходит по-разному и зависит от направления спиралей зубьев и от того, какова обрабатываемая сторона — выпуклая или вогнутая.

На рис. 117, *а* показаны направления смещения пятна контакта на шестерне при обкатке на контрольно-обкатном станке в зависимости

от горизонтального перемещения каретки с ведомой бабкой и колесом и от вертикального перемещения ведущей бабки с шестерней, как для левой и правой спиралей, так и для вогнутой и выпуклой сторон.

Стрелками указано необходимое направление смещения пятна по профилю зубьев, а надпись и знак обозначают, какое перемещение и в каком направлении надо выполнять для достижения такого смещения пятна.

Регулировка расположения пятна контакта при нарезании. Правильное расположение пятна контакта изображено на рис. 118. По высоте зуба зона контакта должна располагаться по образующей начального конуса приблизительно посереди-

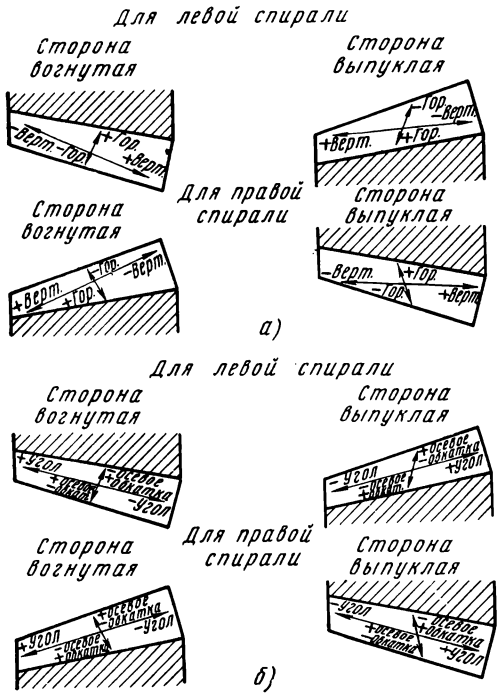


Рис 117. Смещение пятна контакта на ведущей шестерне с круговыми зубьями:

а — на контрольно-обкатном станке, *б* — на зуборезном станке

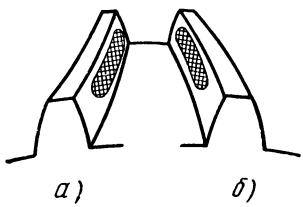


Рис. 118. Правильное расположение пятна контакта на профилях круговых зубьев:

а — выпуклая сторона, *б* — вогнутая сторона

не; ширина пятна обычно оговаривается в чертеже. По длине зуба отпечаток должен занимать около 50% его длины и несколько смещаться к малому торцу. При нарезании колес на станке, налаженном по расчетам, расположение пятна контакта часто получается неудовлетворительным. Поэтому, как правило, производится пробное нарезание одной стороны зубьев шестерни, затем проверяется и регулируется на контрольно-обкатном станке расположение пятна контакта, после чего корректируется наладка зуборезного станка. Потом в таком же порядке корректируется наладка станка при пробной обработке другой стороны зубьев.

При корректировке наладки учитываются величины ΔH и ΔV смещения бабок контрольно-обкатного станка, полученные при регулировке, для правильного расположения пятна контакта.

Изменение расположения пятна контакта по длине зуба при нарезании производится поворотом эксцентрика резцовой головки. Величина угла поворота вычисляется в зависимости от полученной величины вертикального смещения бабки на контрольно-обкатном станке по формуле

$$\Delta\varepsilon = \frac{3438 \cdot \Delta V \cdot \sin q}{K \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} \text{ мин},$$

где K — эксцентриситет эксцентрика; q — координатный угол установки люльки; ε — угол установки эксцентрика до изменения.

Величина ΔV в формуле принимается абсолютной, без учета знака смещения шпинделя на обкатном станке. Направление поворота эксцентрика в сторону увеличения угла (плюс) или в сторону уменьшения (минус) принимается по схеме, приведенной на рис. 117, *б*. На схеме стрелками показано направление смещения к меньшему или большему торцу.

Изменение расположения пятна контакта по высоте профиля зубьев можно регулировать двумя способами: изменением осевой установки бабки с соответствующим смещением скользящей базы продольного стола или изменением передаточного отношения сменных колес гитары обкатки.

В первом случае для получения пятна контакта необходимо осевую установку бабки зуборезного станка изменить на величину, равную абсолютной величине ΔH горизонтального смещения ведомого шпинделя колеса на контрольно-обкатном станке, т. е. на величину $\Delta y = \Delta H$. Знак изменения осевой установки зависит от направления перемещения пятна к головке или ножке нарезаемого зуба (см. рис. 117, *б*). При перемещении к головке (знак плюс) осевая установка должна быть увеличена и бабка отводится назад; при перемещении к ножке (знак минус) осевая установка должна быть уменьшена, для чего бабка перемещается вперед. Изменив осевую установку бабки, надо соответственно сместить и скользящую базу стола на величину, определяемую по формуле $\mp\Delta x = \pm\Delta y \sin\varphi_i$. При увеличении установки на $+\Delta y$ смещение базы стола будет составлять $-\Delta x$, т. е. база переместится вперед, при $-\Delta y$ смещение базы стола будет составлять $+\Delta x$, т. е. она переместится назад.

Величина Δx смещения базы вычисляется в зависимости от изменения осевой установки бабки Δy непосредственно на станке во время его наладки, поэтому формула ее вычисления приводится в карте наладки.

Во втором случае для изменения расположения пятна контакта по высоте зубьев изменяется передаточное отношение сменных колес гитары обкатки, вычисляемое по формуле $\Delta i = \Delta H \frac{x_{об}}{L} \sin\varphi_2$ ($x_{об}$—

передаточное отношение колес гитары до изменения, φ_2— угол начального конуса колеса, сцепляющегося с исправляемой шестерней; ΔH — абсолютная величина смещения оси колеса на ведомой бабке обкатного станка).

На станке 5А27С1 для смещения пятна к головке зубьев надо передаточное отношение сменных колес гитары уменьшить (—), для смещения к ножке увеличить (+), как указано на схеме рис. 117, *б*. На станке 528 изменение передаточного отношения имеет противоположный знак: для смещения пятна к головке передаточное отношение сменных колес гитары надо увеличить (+), для смещения к ножке надо уменьшить (—).

Изменение длины пятна контакта производится путем изменения радиусов односторонних головок, применяемых для отдельного нарезания выпуклой и вогнутой сторон зубьев колеса. Для уменьшения или увеличения радиусов заменяются подкладки в головках.

Устранение диагональности контакта. Для устранения диагональности вводятся поправки при расчете наладки. Если же при нарезании получается диагональное расположение пятна контакта, то надо корректировать наладку, одновременно изменяя осевое расположение бабки, смещая скользящую базу стола, изменяя положение оси резцовой головки и смещая в вертикальном направлении бабку. Расчет изменения всех этих установок сложен, а смещения имеют разные направления в зависимости от направления спирали зубьев и расположения контакта на выпуклой и вогнутой сторонах зубьев. Поэтому диагональность контакта исправляют путем последовательного пробного нарезания, задаваясь различными значениями смещений установок.

Измерение и контроль зубьев конических колес. Готовые колеса контролируют на контрольно-обкатном станке в зацеплении с эталонным колесом или попарно в сопряжении. Обыкновенно сопрягаемые колеса проверяют и маркируют номером пары.

На контрольно-обкатном станке проверяют: величину и характер расположения пятна контакта, величину бокового зазора и равномерность его по всему венцу зубьев, а также бесшумность работы сопрягаемой пары. Колеса устанавливают на обкатный станок так же, как и для регулировки пятна контакта, т. е. вершины образующих начальных конусов должны обязательно находиться в точке пересечения осей колес.

ГЛАВА VIII

ШЕВИНГОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С НАРУЖНЫМИ ЗУБЬЯМИ

§ 44. ПРОЦЕСС ШЕВИНГОВАНИЯ

Процессом шевингования называется обработка нарезанных незакаленных зубьев колес с помощью специального инструмента — шевера. Зубья под шевингование чаще всего нарезают на зубофрезерных станках с припуском от 0,08 до 0,22 *мм* в зависимости от модуля и диаметра колеса. При меньших модулях и меньших диаметрах припуск принимается меньше.

Принцип шевингования заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо вводится в зацепление с шевером, который представляет собой тоже цилиндрическое зубчатое колесо, но на профилях зубьев его, вдоль высоты их нанесены мелкие канавки, осуществляющие резание. Направление зубьев у колеса и шевера должно создавать зацепление их при скрещивающихся осях. При этом могут быть различные сочетания направления зубьев колеса и шевера (рис. 119).

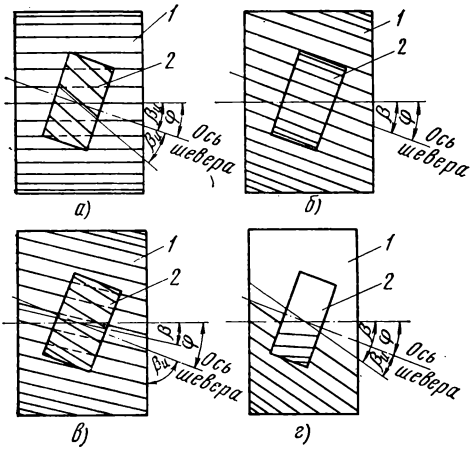


Рис. 119 Направление зубьев шевера и шевингуемого колеса:

а — колесо прямозубое — шевер с косыми зубьями, *б* — колесо косозубое — шевер с прямыми зубьями, *в* — колесо и шевер косозубые с одноименным направлением зубьев *г* — колесо и шевер косозубые с разноименным направлением зубьев; φ — угол скрещивания, $\beta_н$ — угол наклона зубьев шевера, β — угол наклона зубьев колеса; *1* — колесо, *2* — шевер

Соотношение углов наклона зубьев колеса и шевера должно быть таким, чтобы их оси скрещивались под углом φ, величина которого принимается от 5 до 15°.

При вращении шевера и колеса, находящихся в зацеплении, происходит боковое скольжение зубьев вдоль длины их, и кромки канавок на профилях зубьев шевера срезают (соскабливают) тонкие волосообразные стружки с профилей зубьев колеса.

Для обработки профилей по всей их длине надо колесу или шеверу сообщать возвратно-поступательное перемещение вдоль оси колеса в одну и другую сторону. Это перемещение называется продольной подачей. Направление подачи и вращение шевера согласованы между собой: с изменением направления подачи изменяется и направление вращения шевера. После каждого продольного перемещения вдоль

оси в одну сторону колесо перемещается перпендикулярно его оси в направлении к шеверу для забора нового слоя. Контакт профилей зубьев колеса и шевера происходит на шевере в точке середины длины его зубьев и при продольном перемещении стола все время остается на этой середине; по зубьям же колеса точка контакта перемещается вдоль длины их.

Таким образом, при шевинговании происходят следующие движения: вращение шевера и колеса как зубчатой винтовой передачи, причем вращение сообщается одному из них — шеверу или колесу, другое вращается в зацеплении как ведомое; возвратно-поступательное перемещение колеса или шевера вдоль оси колеса; перемещение колеса перпендикулярно его оси в направлении к шеверу (или шевера к колесу).

Кроме шевингования с перемещением шевера, применяют методы шевингования с диагональной и тангенциальной подачей.

При шевинговании с диагональной подачей центровые бабки стола поворачиваются и шевер при продольной подаче перемещается под некоторым углом к направлению оси колеса. Этот угол ω называется углом диагональности. При этом методе шевингования точка контакта зубьев колеса с шевером перемещается не только по длине зубьев колеса, но и по длине зубьев шевера. Вследствие этого износ зубьев шевера равномернее и стойкость его повышается. Кроме того, длина продольного хода значительно меньше, чем при подаче, параллельной оси колеса. При $B_к > B_ш$ длина хода $L = B_к - 0{,}8\, B_ш \cos\varphi$; при $B_к < B_ш$ длина хода $L = 0{,}8\, B_ш \cos\varphi - B_к$. Угол ω наклона направления продольной подачи относительно оси колеса определяется по формуле:

$$\text{при } B_к > B_ш \quad \operatorname{tg}\omega = \frac{0{,}8 B_ш \sin\varphi}{B_к - 0{,}8 B_ш \cos\varphi}; \quad \text{при } B_к < B_ш$$

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{0{,}8 B_ш \sin\varphi}{0{,}8 B_ш \cos\varphi - B_к},$$

где $B_к$ — ширина колеса, $B_ш$ — ширина шевера, φ — угол скрещивания.

Шевингование с тангенциальной подачей ведется при перемещении стола в направлении, перпендикулярном оси колеса. При этом шевер должен иметь ширину $B_ш$ больше, чем ширина обрабатываемого колеса $B_ш = 1{,}2 \frac{B_к}{\cos\varphi}$. Длина рабочего хода $L = \sqrt{2{,}7 A \Delta} + (B_к + 4) \operatorname{tg}\varphi$, где A — межосевое расстояние, Δ — величина припуска на шевингование по толщине зуба.

При шевинговании исправляется значительная часть погрешностей зубонарезания (отклонение профиля, основного шага, направление и толщины зуба), достигается высокая точность обработки и улучшается чистота поверхности.

Недостатком шевингования является отсутствие жесткой кинематической связи между шевером и обрабатываемым колесом, вследствие чего накопленная ошибка окружного шага исправляется в небольшой

степени. Кроме того, точность обработки шевингованием значительно зависит от качества зубонарезания и от припуска под шевингование.

В последнее время получает распространение новый способ обработки зубьев кромочными шеверами. В отличие от обычного шевингования этот способ отделки осуществляется при жесткой кинематической связи между режущим инструментом и обрабатываемым колесом. Кромочный шевер и обрабатываемое колесо образует пару зубчатых колес со скрещивающимися осями. Для обработки обеих сторон зубьев колеса применяют два шевера; каждый шевер обрабатывает свою сторону зуба колеса при соответствующем направлении движения обкатки и подачи.

§ 45. ШЕВИНГОВАЛЬНЫЙ СТАНОК 5714

Общий вид станка показан на рис. 120. Станина имеет внизу форму плиты, служащей основанием станка, а вверху форму стойки. Спереди на верхней части станины имеется плоскость, к которой крепится основание *5*, а к нему снизу монтируется шевинговальная головка *4*. Ниже, спереди станины, расположены вертикальные направляющие, к которым прижимается консоль *2* с механизмом продольной и радиальной подачи. На горизонтальных направляющих консоли установлен стол *3*, состоящий из салазок и укрепленной на них верхней части. Стол может перемещаться по направляющим консоли в одну и другую стороны.

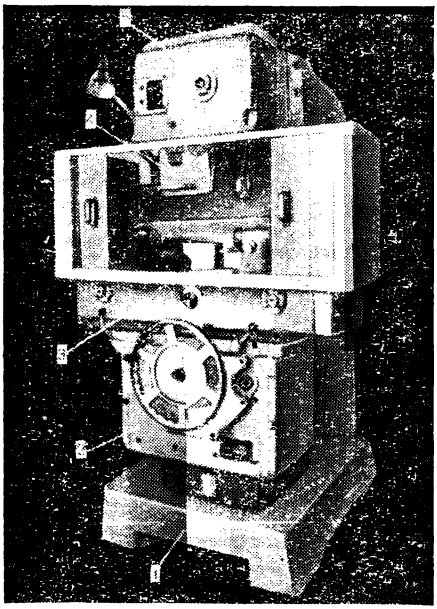


Рис. 120. Общий вид шевинговального станка 5714:

1 — станина, *2* — консоль, *3* — стол, *4* — шевинговальная головка, *5* — основание шевинговальной головки

Жидкость для охлаждения обрабатываемого колеса и шевера при шевинговании подается электронасосом, установленным внутри задней части станка. Для смазки станка масло заливается в ванны, одна из которых расположена в основании *5* (см. рис. 120), а вторая — в корпусе консоли *2*. Механизмы приводов вращаются в масляных ваннах, а другие части станка смазываются при помощи помп, приводящихся в движение от механизма станка. Масло из ванн подается помпами по трубопроводам к местам смазки.

Назначения органов управления станком можно проследить по рис. 121.

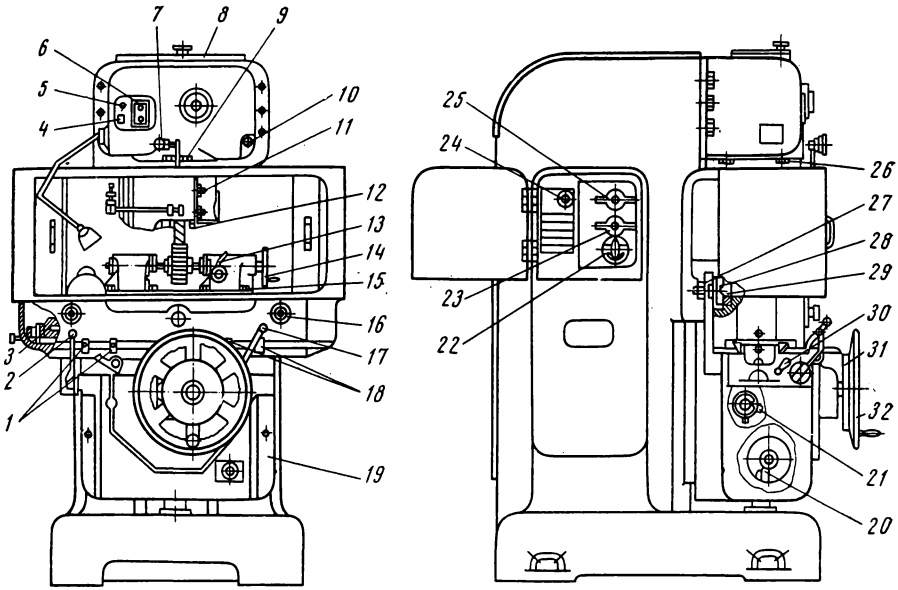


Рис. 121. Общий вид и органы управления шевинговального станка 5714:

1 — упоры автоматического останова продольного движения стола, *2* — рукоятка автоматического выключения радиальной подачи, *3* — упорные винты регулировки положения стола по высоте, *4* — включение лампы местного освещения, *5* — сигнальная лампа, указывающая окончание цикла обработки, *6* — кнопочная станция, *7* — индикатор проверки установки угла скрещивания, *8* — сменные зубчатые колеса скорости резания, *9* — шкала отсчета углов поворота шевинговальной головки, *10* — рукоятка поворота шевинговальной головки на угол скрещивания, *11* — гайка для крепления контрподдержки, *12* — гайка крепления шевера на шпинделе, *13* — рукоятка зажима пиноли бабки, *14* — маховичок для подвода и отвода пиноли бабки, *15* — гайка для крепления бабки на столе, *16* — фиксатор установки вертикального перемещения стола, *17* — рукоятка изменения направления движения стола, *18* — упоры регулировки длины хода стола, *19* — сменные зубчатые колеса продольной подачи стола, *20* — диск установки числа калибрующих ходов стола, *21* — кулачок радиальной подачи, *22* — переключатель направления вращения шевера, *23* — включатель насоса подачи охлаждающей жидкости, *24* — лимб установки числа двойных ходов стола, *25* — включатель подключения станка к электросети, *26* — болт крепления шевинговальной головки, *27* — гайка крепления копирного диска при шевинговании бочкообразных зубьев, *28* — шкала установки на угол копирного диска, *29* — палец копирного диска для шевингования бочкообразных зубьев, *30* — рукоятка установки величины радиальной подачи, *31* — указатель величины радиального перемещения стола, *32* — маховичок ручной радиальной подачи

Кинематическая схема станка состоит из двух кинематических цепей, независимых одна от другой (рис. 122): цепь привода шевера и цепь подачи стола (продольной и радиальной).

Цепь привода шевера. Движение от электродвигателя $Э_1$ с числом оборотов $n=1275$ в минуту передается к шпинделю шевера через червячную передачу *2* : *38*, цилиндрические сменные зубчатые колеса $a_0 : b_0$ с передаточным отношением x_0, коническую пару *32* : *32* и цилиндрическую пару зубчатых колес *32* : *32*.

Цепь подачи стола. Продольная и радиальная подачи осуществляются электродвигателем $Э_2$ с числом оборотов $n=1260$ в минуту.

Для перемещения стола при продольной подаче движение от электродвигателя передается через червячную пару *1* : *40*, сменные зубчатые колеса $x_п = a_1 : b_1$ и коническую передачу *15* : *45* валу *I*. От этого вала при помощи конической передачи *21* : *21* вращается винт с шагом $t = 6$ *мм*, ввинчивающийся в гайку *Г*, скрепленную со столом, и перемещает его.

Движение радиальной подачи от вала *I* передается при помощи червячной передачи *1* : *20* валу *II*, на котором установлен кулачок *А*, сообщающий движение приводу храпового механизма для вертикальной подачи (механизм привода на схеме не указан). Кулачок через механизм привода поворачивает на определенный угол храповое колесо *40*, поворот которого через коническую пару *15* : *36* передается вертикальному винту *III* с шагом $t = 6$ *мм*. Последний при ввинчивании в гайку, закрепленную в нижней части станины, перемещает консоль, осуществляя вертикальную подачу.

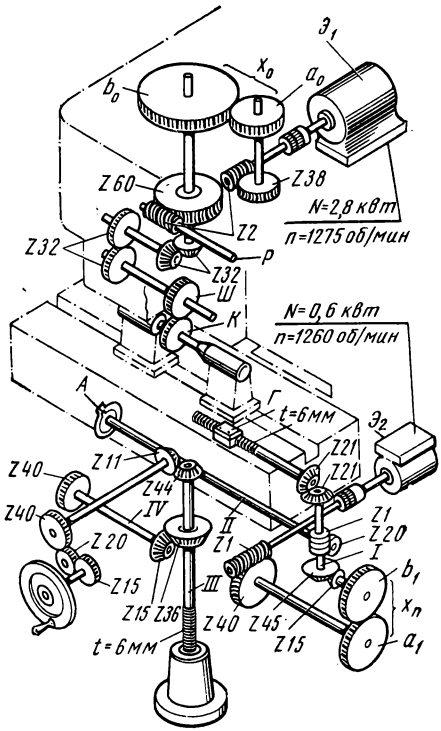


Рис. 122. Кинематическая схема шевинговального станка 5714

Ручная радиальная подача производится маховичком *32* (см. рис. 121) через цилиндрические зубчатые колеса *15* : *20* : *40* (см. рис. 122) и коническую пару *11*:*44*, передающую вращение вертикальному валу *III*. При ручной подаче собачка отводится от храпового колеса *40* рукояткой *2* (см. рис. 121).

Работа станка

Шевер *Ш* (см. рис. 122), получающий вращение от электродвигателя, является ведущим, а шевингуемое колесо *К* вращается при зацеплении с ним как ведомое. Возвратно-поступательное движение стола перемещает обрабатываемое колесо вдоль оси, осуществляя продольную подачу. Колесо приближается к шеверу при перемещении консоли со столом вверх на величину радиальной подачи. Благодаря этому перемещению создается давление между зубьями шевера и колеса, необходимое для забора и срезания стружки. Припуск снимается за нес-

колько проходов стола. Радиальная подача осуществляется в конце каждого хода при перемещении стола в одну и другую стороны.

На станке можно шевинговать также колеса с внутренними зубьями. Для этого устанавливают шевинговальную головку и специальную бабку, позволяющие осуществлять внутреннее зацепление колеса с шевером.

Устройство некоторых узлов

Механизм радиальной подачи (рис. 123). На валу II (см. рис. 122) насажен и вращается вместе с ним кулачок *1* (см. рис. 123), состоящий из двух дисков с упорами, которые поочередно нажимают на ролики рычага *2* и качают его. Качательное движение рычага передается через

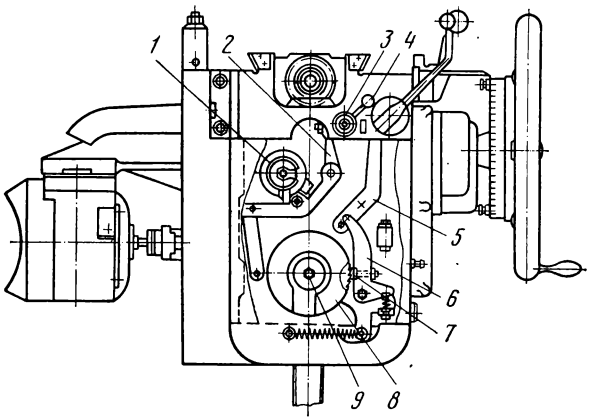


Рис. 123. Механизм радиальной подачи

рычаги *5* и *6* собачке *7*, которая поворачивает храповик *8* на определенный угол. Поворотом рукоятки *4* создается некоторый предварительный поворот рычага *2*, вследствие чего изменяется величина колебания собачки и изменяется число захватываемых зубьев на храповом колесе. С храповиком поворачивается вал *9*, и через коническую пару колес *15* : *36* (см. рис. 122) вращение передается винту *III*, перемещающему консоль. Упоры дискового кулачка *1* (см. рис. 123) устанавливаются с таким расчетом, чтобы каждый из них нажимал на рычаг *3* в конце каждого продольного хода стола.

Продольный стол. Устройство продольного стола (рис. 124). Салазки *4* стола перемещаются по направляющим консоли. На них установлена верхняя часть стола *2*, качающаяся на оси *6*. Фиксаторы *1* и *3* обеспечивают неподвижность верхней части относительно салазок. Дополнительная жесткость верхней части достигается упорными винтами.

При перемещении стола подвижные упоры *5*, воздействуя на рукоятку *17* (см. рис. 121), переключают направление вращения обоих электродвигателей (привода шевера и привода стола) и таким образом изменяют направление вращения шевера и направление перемещения

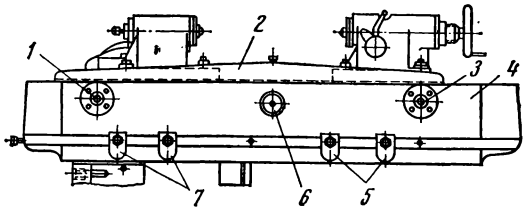


Рис. 124. Продольный стол

стола. Аварийные упоры *7* (рис. 124) при помощи рычага, закрепленного на консоли между ними, выключают станок, если какой-либо из упоров *5* не сработает и стол не изменит направления перемещения. Этим предохраняют механизм станка от поломки.

Механизм для образования бочкообразной формы зубьев. Для лучшей работы зубчатых колес зубья иногда делают не одинаковой толщины по длине: по середине венца толще, по краям тоньше. Зубья получаются бочкообразной формы (рис. 125, *б*).

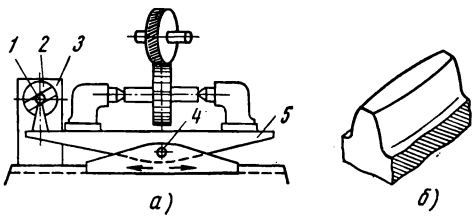


Рис. 125. Шевингование бочкообразных зубьев:
а — схема установки для шевингования, *б* — бочкообразный зуб

Для шевингования бочкообразных зубьев на корпусе консоли, позади стола, устанавливается кронштейн *3* с копирным диском *2* (рис. 125, *а*). Диск поворачивается на заданный угол и закрепляется. В пазу диска находится палец *1*, скрепленный с верхней частью стола *5*. Середина зубчатого венца шевингуемого колеса должна располагаться точно против центра *4* качания стола. Во время хода стола палец перемещается по неподвижному наклонному пазу диска *2* и периодически поднимает один и второй конец стола; при этом зубья колеса подходят ближе к шеверу, срезаются больше по краям длины и принимают бочкообразную форму; чтобы не препятствовать качанию стола фиксаторы *1* и *3* (рис. 124) надо снять.

Шеверы. Дисковые шеверы (рис. 126, *а*) имеют форму цилиндрического зубчатого колеса, у которого на боковых профилях зубьев вдоль их высоты нарезаны неглубокие часто расположенные

узкие канавки. Шеверы бывают как с прямыми зубьями, так и косозубые с правым и левым направлением наклона зубьев.

Номинальные размеры шевера зависят от размеров зубьев колеса. Нормальный модуль m_n и угол зацепления α_n в нормальном сечении равны этим же величинам шевингуемого колеса. Угол β_u наклона зубьев по делительному диаметру, толщина зуба S_u и высота головки h_u'' шевера, хотя и не равны таким же параметрам колеса, но зависят от них. Число зубьев z_u, делительный диаметр d_{du}, наружный диаметр D_e определяют конструктивно, в зависимости от размеров обрабатываемого колеса и места установки шевера на станке. Для повышения точности шевингования число зубьев шевера не должно быть кратным числу зубьев шевингуемого колеса.

Шеверы изготовляют из быстрорежущей стали Р18 или Р9Ф5 и подвергают последующей термообработке (закалке и отпуску).

Затупившиеся шеверы шлифуют по профилю зубьев и наружному диаметру для сохранения соотношения между толщиной и высотой головок зубьев.

В маркировке шевера указывают нормальный модуль m_n, угол зацепления α_n, угол наклона зубьев β_u и угол скрещивания φ, индекс и марку стали.

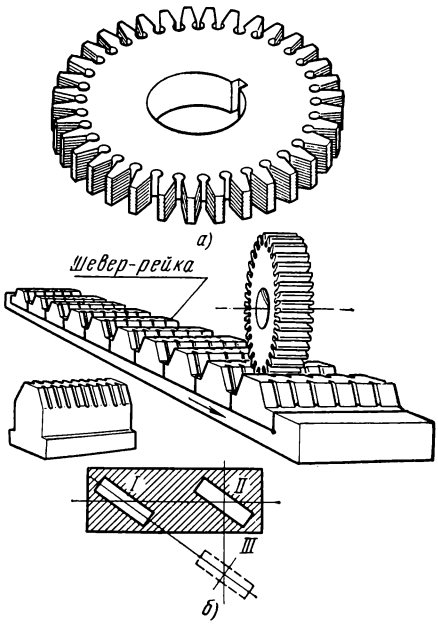


Рис. 126. Шеверы:
а — дисковый, *б* — реечный

Стандартные шеверы общего назначения, применяемые для шевингования разных зубчатых колес, имеют угол наклона зубьев 15° или 5°. Угол в 5° делается на шеверах для шевингования колес с буртами, что позволяет перемещать шевер ближе к бурту. На этих шеверах угол скрещивания φ не маркируют, а рассчитывают при наладке станка в зависимости от угла наклона зубьев колеса.

Реечный шевер. Наряду с дисковыми шеверами применяют и шеверы реечные (рис. 126, *б*), которые состоят из отдельных зубьев. Для обработки зубьев прямозубых колес шеверы закрепляют в корпусе наклонно под углом 30°. Для обработки зубьев косозубых колес шеверы закрепляют перпендикулярно к оси корпуса, на них имеются канавки, образующие режущие кромки, перпендикулярные к оси самого зуба. Длина реечного шевера должна обеспечивать полную

обкатку обрабатываемого колеса за один рабочий ход станка и составляет:

$$L = \frac{\pi m (z + 2)}{\cos \varphi_u}.$$

Расчеты при наладке

Расчет числа оборотов шевера. Для расчета числа оборотов шевера необходимо выбрать скорость резания v *м/мин*. Скоростью резания при шевинговании называется скорость бокового скольжения зубьев шевера относительно зубьев шевингуемого колеса. Величина ее зависит от материала обрабатываемых колес: для зубчатых колес из стали она назначается около 20 *м/мин*. По скорости резания v определяют окружную скорость по формуле

$$v_u = \frac{v}{\cos \beta_u \cdot \operatorname{tg} \beta \pm \sin \beta_u},$$

где β — угол наклона зубьев колеса, β_u— угол наклона зубьев шевера.

При одноименном направлении зубьев колеса и шевера в формуле ставят знак плюс, при разноименном — минус. В соответствии с величиной окружной скорости число оборотов шевера находят по формуле

$$n_u = 318 \frac{v_u}{d_{д_u}},$$

где $d_{д_u}$— делительный диаметр шевера.

Расчет сменных зубчатых колес для изменения числа оборотов шевера. Сменные колеса рассчитывают по формуле

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n_u}{67} \text{ (см. рис 122).}$$

По передаточному отношению x_0 подбирают сменные колеса из имеющихся на станке с передаточным отношением, ближайшим к расчетному, и устанавливают в верхней части станины. Сумма зубьев сменных колес $a_0 + b_0 = 84$.

Расчет сменных зубчатых колес продольной подачи. Продольной подачей называется величина перемещения стола вдоль оси колеса в *мм* за один оборот колеса. Если продольное перемещение совершает шевер, то продольной подачей называется перемещение шевера вдоль оси колеса за один оборот колеса.

Величину подачи s выбирают из таблицы, имеющейся в руководстве к станку, в зависимости от степени точности шевингуемых колес и заданной чистоты поверхности профилей зубьев и принимают в пределах от 0,2 до 0,5 *мм*. Формула расчета сменных колес продольной подачи следующая:

$$x_п = \frac{a_1}{b_1} = 1{,}063 x_0 s \frac{z_u}{z} \text{ (см. рис. 122),}$$

где z_u— число зубьев шевера; z — число зубьев колеса; x_0— передаточное отношение сменных колес коробки передач скорости резания.

По рассчитанному передаточному отношению подбирают сменные колеса из имеющихся на станке; сумма зубьев колес $a_1+b_1=81$. Сменные колеса подачи устанавливают в нижней части станины.

Наладка станка

Установка шевера на шпиндель. Как правило, шевер устанавливают так, чтобы плоскость, проведенная через ось поворота шевинговальной головки, проходила через середину ширины шевера. Если колесо имеет бурт, то шевер смещается по оправке, и эта плоскость должна проходить не больше, чем 5 *мм* от торца шевера, расположенного к бурту колеса. Установка шевера достигается подбором колец. При нормальной ширине шевера 20 *мм* толщина этих колец должна быть 5 и 10 *мм*, при иной ширине подбирают другие кольца.

Для установки шевера на шпиндель необходимо открепить и снять поддерживающий кронштейн, отвернуть гайку и снять кольца. Потом установить на свои места шевер и кольца и закрепить гайкой, надеть кронштейн и закрепить. Перед установкой шевера необходимо тщательно протереть посадочные поверхности шевера и шпинделя.

Установка обрабатываемого колеса. Колесо закрепляют на центровой оправке нормального типа или на специальной. Оправку устанавливают в центра бабок стола без ведущего поводка, так как колесо приводится во вращение шевером при их зацеплении.

Настройка длины хода стола. Длина хода стола в одну сторону должна быть равна $L=B+2a$, где B — ширина зубчатого венца колеса, a — перебег середины шевера относительно торца колеса на одну сторону 2—4 *мм*.

Длина хода стола регулируется передвижными упорами *5* (см. рис. 124), которые воздействуют на рукоятку *17* (см. рис. 121) переключения электродвигателей. Для расстановки упоров стол перемещают в одну какую-либо сторону настолько, чтобы середина шевера вышла за торец колеса на величину a перебега и в таком положении упор закрепляют около рукоятки *17*. Таким же образом стол перемещают в другую сторону и укрепляют второй упор.

Настройка радиальной подачи. Радиальной или вертикальной подачей называется перемещение шевингуемого колеса в радиальном направлении в *мм* за один ход стола в одну сторону. Величины подач нанесены на диске около рукоятки *4* (см. рис. 123) и составляют 0,02; 0,04; 0,06 и 0,08. Эту рукоятку устанавливают в положение, при котором против указателя, закрепленного на корпусе консоли, окажется цифра выбранной величины подачи.

Число ходов продольного стола определяют делением общего припуска по толщине зуба на величину радиальной подачи. После снятия припуска осуществляется 2—3 отделочных прохода без вертикальной подачи.

Установка шевинговальной головки на угол поворота. Шевинговальная головка на угол скрещивания φ (см. рис. 119) поворачивается

при помощи рукоятки *10* (см. рис. 121). Угол поворота отсчитывается по шкале, расположенной на головке, и нониусу.

Угол скрещивания определяется в зависимости от углов наклона зубьев колеса и шевера (см. рис. 119): а) для прямозубого колеса угол скрещивания равен углу наклона зубьев шевера $\varphi=\beta_u$; б) если шевер прямозубый, то угол скрещивания равен углу наклона зубьев косозубого колеса $\varphi=\beta$; в) если наклон зубьев колеса и шевера одноименный, то угол скрещивания равен сумме углов наклона их $\varphi=\beta+\beta_u$ (см. рис. 119); г) если наклон зубьев разноименный, то угол скрещивания равен разности углов наклона их: $\varphi=\beta-\beta_u$.

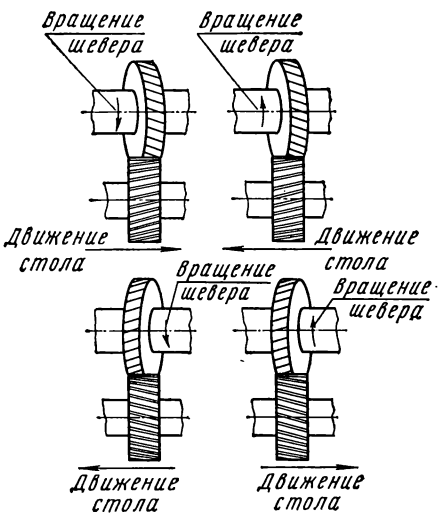


Рис. 127. Схема согласования направления вращения шевера и направления движения стола

При выборе шевера для обработки данного колеса угол скрещивания должен быть в пределах от 10 до 15°. Если угол скрещивания выходит из этих пределов, то шевер будет плохо работать и лучше его не применять для данного колеса.

Установка стола на межосевое расстояние между шевером и колесом. Расстояние между осями шевера и колеса устанавливают следующим образом: включают рукояткой *2* (см. рис. 121) механические подачи стола— продольную и радиальную. Когда шевингуемое колесо окажется под шевером, стол останавливают и маховичком *32* поднимают до тех пор, пока не выберут зазор между зубьями шевера и колеса. При этом колесо слегка покачивают рукой. Отметив деление на лимбе маховичка *32*, установившееся против указателя, стол немного опускают и колесо отводят в сторону от шевера. После этого вращают маховичок для подъема стола, пока отмеченное деление не станет опять против указателя и включают станок и радиальную подачу. Для обработки следующих колес стол опускают до установки лимба на отмеченное деление.

Согласование направления вращения шевера и перемещения стола. При выборе направления перемещения стола и вращения шевера надо руководствоваться схемой, приведенной на рис. 127. Для проверки согласованности вращения шевера и перемещения стола надо пустить станок и проследить, соответствуют ли направления движения их указанным на схеме. Если эта согласованность нарушена, следует переключить вращение шевера переключателем *22* (см. рис. 121), расположенным с левой стороны станка под крышкой.

Регулировка установки шевинговальной головки на угол скрещивания. После обработки первого колеса проверяют правильность наклона его зубьев. Если наклон зубьев не соответствует заданному, надо внести поправку в установку шевинговальной головки. Для поправки определяют необходимое число делений индикатора (с ценой делений, равной 0,01 *мм*) по формуле:

для прямозубых колес $y = \frac{208,5f}{B}$;

для косозубых $y = \frac{208,5f\cos\beta}{B}$;

где y — число делений индикатора, f — величина отклонения наклона зубьев от заданного, *мм*, B — ширина зубчатого венца, *мм*, β — угол наклона зубьев по делительному диаметру.

Потом индикатор *7* (см. рис. 121) укрепляют в специальном зажиме на корпусе основания головки и подводят его ножку к упору, находящемуся на головке. Шкалу индикатора устанавливают на нуль. Головку поворачивают, пока стрелка индикатора не покажет рассчитанное число делений на его шкале.

ГЛАВА IX

НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ НА РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

§ 46. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗЬБАХ

Назначение резьб

Резьбовые соединения имеют два назначения: скреплять какие-либо части конструкций или передавать движение между звеньями механизма. В зависимости от назначения и характера работы резьбовые соединения делятся на неподвижные и кинематические. К первым относятся обычные резьбовые соединения. Скрепление частей осуществляется при помощи болтов и гаек, свинчиваемых между собой, или при помощи винтов, ввинчиваемых в одну из соединяемых частей конструкции через отверстие в другой. К кинематическим резьбовым соединениям относятся резьбы для передачи движения во многих механизмах, передающих поступательное движение, как, например, перемещение стола или суппорта во многих станках, перемещение в микрометрических парах, в грузовых винтах и т. п.

Элементы резьбы

Винтовая линия. Основой всякой резьбы является винтовая линия (рис. 128, *а*). Если по образующей цилиндра с диаметром d равномерно перемещать точку A и одновременно вращать ее вокруг оси цилиндра, то эта точка опишет на цилиндре винтовую линию AE. Если разрезать цилиндр по образующей AE и развернуть его боковую поверхность, то основание AB прямоугольника $ABCE$ будет равно длине окружности πd. Величина AE перемещения точки A вдоль оси цилиндра за один оборот называется ходом H винтовой линии. Угол $BAC = \beta$ между касательной в точке A к окружности цилиндра и касательной, проведенной к винтовой линии в той же точке, называется углом подъема винтовой линии. Величина угла подъема определяется по формуле

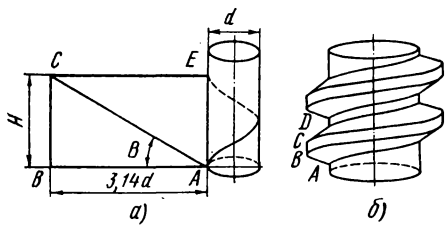


Рис. 128. Резьбовый винт:
а — образование винтовой линии, *б* — образование винтового витка

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{H}{\pi d}.$$

Профиль резьбы. Возьмем какую-либо плоскую фигуру, например, трапецию $ABCD$, расположенную в плоскости, проходящей через ось цилиндра (рис. 128, *б*), и будем перемещать ее вдоль винтовой линии

так, чтобы сторона AD все время касалась образующей цилиндра. Тогда эта фигура опишет винтовой выступ — виток резьбы наружного винта, состоящий из наружной поверхности BC, расположенный по наружному цилиндру винта, и двух боковых поверхностей, получаемых вращением и осевым перемещением образующих AB и CD.

Направление витков резьбы и число заходов. В зависимости от направления винтовой линии резьбы подразделяются на правые и левые. Правой называется резьба, у которой направление винтовой линии в сторону подъема идет слева направо (по часовой стрелке); у левой резьбы направление винтовой линии в сторону подъема идет справа налево (против часовой стрелки).

Резьба, образованная перемещением фигуры вдоль одной винтовой линии, называется однозаходной. Если же на цилиндре нанесено несколько винтовых линий, разделяющих окружность основания на равные части, по которым перемещается фигура профиля резьбы, то такая резьба называется многозаходной или многониточной. На рис. 129, *б* изображена трехзаходная резьба.

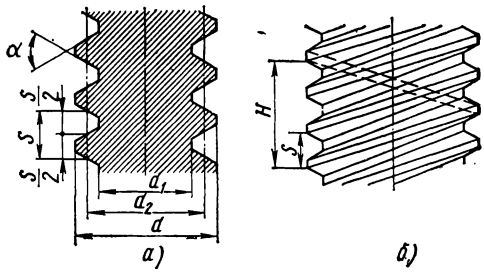


Рис. 129. Основные параметры резьбы

Основные параметры резьб. Шагом S резьбы называется расстояние между точками одноименных соседних профилей резьбы, взятыми на образующей какого-либо цилиндра резьбового витка. Соотношение между величиной хода H и величиной шага S многозаходной резьбы выражается зависимостью $H=KS$, где K — число заходов (см. рис. 129, *а*). У однозаходной резьбы шаг и ход совпадают.

Резьбы характеризуются также (рис. 129, *а*) наружным d, средним d_2 и внутренним d_1 диаметрами, шагом S, половиной угла профиля $\frac{\alpha}{2}$.

Виды резьб

Резьбы подразделяются на конические и цилиндрические.

Конические резьбы применяют обычно в тех случаях, когда требуется плотность (герметичность) резьбового соединения.

Цилиндрические резьбы. Основным видом цилиндрической резьбы является метрическая резьба. Дюймовая резьба имеет в СССР ограниченное применение.

Кроме указанных резьб, используются специальные цилиндрические резьбы: трубная, трапецеидальная, прямоугольная, упорная, часовая и круглая.

Метрическая резьба. Эта резьба по ГОСТ 9253—59 (рис. 130, *а*) имеет треугольный профиль витка с углом у вершины

$\alpha=60^{\circ}$. Внутренний диаметр болта меньше внутреннего диаметра гайки, поэтому между вершиной витка гайки и дном впадины витка болта при их свинчивании образуется зазор, предусмотренный размерами резьбы. Между вершиной витка болта и дном впадины витка гайки также образуется зазор, но за счет закругления дна впадины и уменьшения наружного диаметра болта в пределах поля допуска.

Метрические резьбы по величине шага подразделяются на резьбы с крупным и мелким шагом. Резьба с самым крупным шагом одного и

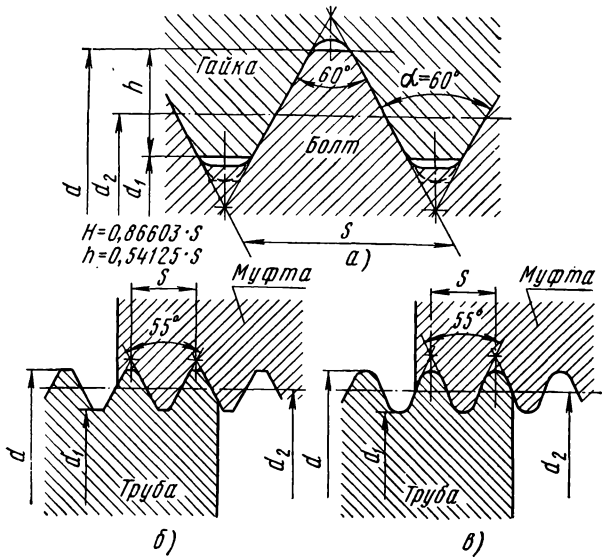


Рис. 130. Профили треугольных резьб

того же диаметра называется основной метрической резьбой, а резьбы с более мелкими шагами называются мелкими метрическими.

Стандартом предусмотрены определенные размеры диаметров, являющиеся общими для всех групп. Для основной метрической резьбы установлено 3 класса точности, которые обозначают цифрами в порядке понижения точности (1-й класс; 2-й и 3-й). Для мелких метрических резьб можно пользоваться также классом точности 2а. Класс точности определяется допусками на размер среднего диаметра резьбы.

Дюймовая резьба. Номинальный наружный диаметр дюймовой резьбы выражается в дюймах: вместо шага указывается число ниток (число выступов резьбы) на один дюйм длины резьбы. Угол профиля $\alpha=55^{\circ}$. Дюймовая резьба имеет два класса точности: 2-й и 3-й.

Трубная резьба. Номинальные размеры трубной резьбы выражаются в дюймах, а размерность резьбовых витков — числом ни-

ток на один дюйм длины резьбы. Номинальное обозначение резьбы в дюймах не соответствует размерам ее в миллиметрах. Величина наружного диаметра, выраженная в миллиметрах, больше величины резьбы в дюймах. Так, резьбы с номинальным обозначением 1″ имеют наружный диаметр 33,25 *мм*, между тем как 1″=25,4 *мм*; угол профиля трубной резьбы равен 55°. Стандартом предусмотрено два варианта профилей трубной резьбы: с плоскими срезами вершины витка и дна впадины (рис. 130, *б*) и с закруглениями (рис. 130, *в*). Трубная резьба имеет два класса точности: 2-й и 3-й.

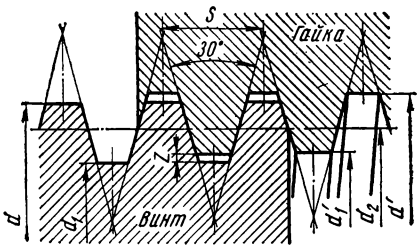


Рис. 131. Профиль трапецеидальной резьбы

Трапецеидальная резьба. Применяется в основном для передачи движения между какими-либо частями механизма. Профиль резьбы показан на рис. 131. Размеры резьбы выражаются в миллиметрах, угол профиля равен 30°. Согласно стандарту предусмотрено три группы трапецеидальной резьбы: нормальная, мелкая и крупная, которые при одном и том же диаметре отличаются величиной шага. Пропорционально величине шага меняются и все остальные элементы профиля. Длины трапецеидальных резьб обыкновенно превышают размер их диаметра в несколько раз. По ГОСТ 9562—60 для резьбовых соединений с трапецеидальной резьбой установлены для гайки 1, 2 и 3-й классы точности, а для винта 1-й класс точности при скользящей посадке, 2-й класс точности при посадке движения и 3-й класс точности при ходовой посадке.

Проверка резьб

У резьбы проверяют следующие элементы: диаметры — наружный, внутренний и средний; шаг и половину угла профиля. Особо точные резьбы контролируют по каждому элементу в отдельности. Шаг и профиль проверяют при помощи микроскопа, наружный диаметр витка измеряют штангенциркулем или микрометром, а средний диаметр — резьбовым микрометром (рис. 132). Резьбовой микрометр имеет съемные наконечники. Показание микрометра дает значение фактического размера среднего диаметра.

При серийном производстве резьбы проверяют предельными калибрами. У наружных резьб наружный диаметр контролируют предельной скобой, как у цилиндрического вала. Суммарную ошибку шага, угла профиля и среднего диаметра проверяют резьбовыми калибрами — кольцами: проходным и непроходным. Проходное резьбовое кольцо имеет профиль и размеры резьбы, соответствующие наименьшим возможным размерам резьбы сопрягаемой гайки (рис. 133, *а*) и должно навинчиваться на проверяемую резьбу. Непроходное кольцо

(рис. 133, *б*) имеет профиль резьбы только на небольшом участке по высоте витка у среднего диаметра, а потому навинчивание его на винт зависит только от размеров среднего диаметра, который равен наименьшему допустимому среднему диаметру резьбы винта. При проверке

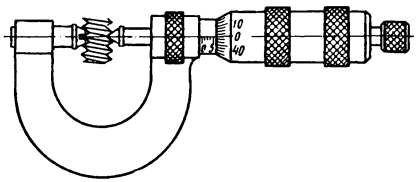


Рис. 132. Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром

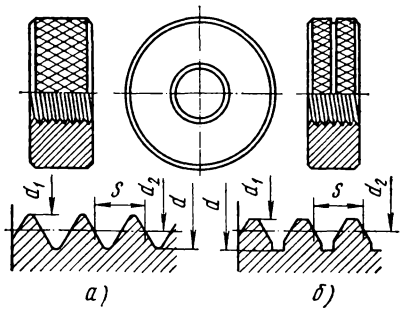


Рис. 133. Резьбовые калибры — кольца

резьбы непроходное кольцо не должно навинчиваться на проверяемую резьбу.

Проверка резьбы резьбовыми кольцами имеет некоторые недостатки: чтобы навинтить и свинтить кольцо, требуется время; кольцом нельзя проверить овальность резьбы. Проще вести проверку резьбовой скобой, у которой вместо губок две пары роликов с нарезкой, равной шагу проверяемой резьбы. Профиль витков первой пары роликов от края губок выполнен, как у проходного кольца, а у второй пары, как у непроходного. Проверка резьбы роликовой резьбовой скобой аналогична проверке цилиндрического вала предельной скобой: первая пара роликов должна проходить, а вторая не проходить по канавкам проверяемой резьбы. Точность измерения резьбовой скобой из-за нежесткости конструкции ниже, чем при измерении кольцами, а потому резьбовые скобы применяют для измерения менее точных резьб при массовом производстве.

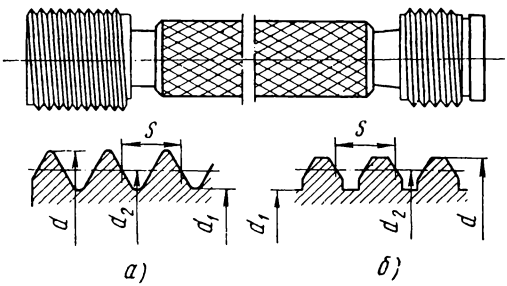


Рис. 134 Резьбовой калибр — пробка

У внутренних резьб внутренний диаметр проверяют предельной гладкой пробкой, как диаметр цилиндрического отверстия. Суммарную ошибку шага, угла профиля и среднего диаметра устанавли-

вают при помощи резьбового калибра — пробки. Проходная сторона (рис. 134, *а*) пробки должна ввинчиваться в резьбу, непроходная сторона (рис. 134, *б*) не должна ввинчиваться. Проходная сторона имеет профиль и размеры резьбы, соответствующие наибольшим возможным размерам резьбы болта, сопрягаемого с проверяемой гайкой. Средний диаметр резьбы непроходной стороны пробки равен наибольшему допустимому среднему диаметру резьбы гайки. Резьба непроходной стороны пробки выполняется со срезанным укороченным профилем.

Трапецеидальную резьбу проверяют универсальными инструментами — штангенциркулем, микрометром или предельными калибрами (кольцами и пробками). Профиль резьбы проверяют шаблоном, имеющим размеры впадины резьбы.

§ 47. МЕТОДЫ ФРЕЗЕРОВАНИЯ РЕЗЬБЫ

Способы нарезания резьбы

Для получения резьбы на деталях применяют различные способы нарезания, из которых наиболее распространенными являются: нарезание на токарных станках резцом или гребенкой, нарезание метчиками, плашками и резьбонарезными головками, дисковыми и групповыми резьбовыми фрезами, одно- и многониточными шлифовальными кругами, а также накатыванием плоскими плашками и накатными роликами.

Резьбофрезерование благодаря высокой производительности получило широкое применение при нарезании резьб значительных диаметров. Чаще применяют два способа фрезерования резьб: фрезерование резьб дисковой фрезой и фрезерование коротких резьб групповой фрезой.

Фрезерование резьбы дисковой фрезой

При этом способе нарезания резьбы фреза быстро вращается вокруг своей оси и прорезает в медленно вращающейся детали канавку витка (рис. 135). Фрезе одновременно сообщается продольная подача вдоль детали, равная ходу резьбы за каждый ее оборот. Благодаря сочетанию вращения обрабатываемой детали и продольной подачи фрезы прорезаемый паз располагается по винтовой линии, образуя резьбу. При нарезании резьбы деталь должна сделать столько оборотов, сколько оборотов имеет виток на всей длине резьбы.

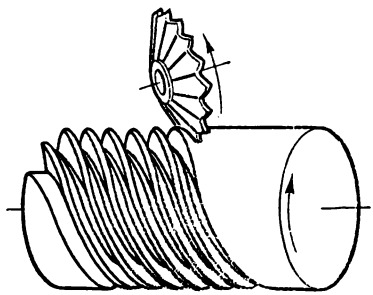


Рис. 135. Схема фрезерования резьбы дисковой фрезой

При нарезании резьбы дисковой фрезой должны выполняться три

движения: быстрое вращение фрезы, медленное вращение детали и согласованное с этим вращением продольное перемещение фрезы.

Перед началом фрезерования фрезу подводят к заготовке перпендикулярно ее оси и отводят после нарезания.

Фрезерование резьбы групповой фрезой

Групповой фрезой резьбу фрезеруют одновременно по всей длине. Фреза быстро вращается вокруг своей оси, осуществляя процесс резания, при этом деталь медленно вращается вокруг своей оси, а фреза одновременно перемещается вдоль ее оси. Эти движения согласованы между собой: за один оборот детали фреза перемещается на величину хода резьбы.

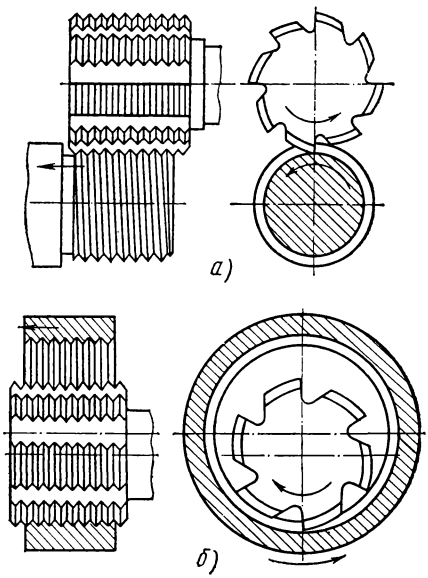


Рис. 136. Схема фрезерования резьбы групповой фрезой:
а — наружной, *в* — внутренней

В некоторых станках продольное перемещение относительно фрезы совершает деталь.

Для нарезания резьбы по всей длине требуется один оборот детали. На подвод, врезание и отвод фрезы, происходящие во время вращения детали, затрачивается еще некоторая часть оборота. Весь цикл нарезания происходит за число оборотов детали от $1^1/_6$ до $1^3/_8$, в зависимости от конструкции станка.

При фрезеровании резьбы групповой фрезой выполняются три движения: быстрое вращение фрезы, медленное вращение детали и продольное перемещение фрезы или детали вдоль ее оси. Имеется еще установочное перемещение фрезы: подвод к детали перед началом фрезерования и отвод после окончания (или же установочное перемещение детали относительно фрезы).

Групповыми фрезами можно нарезать как наружные резьбы (рис. 136, *а*), так и внутренние (рис. 136, *б*). В обоих случаях направления вращения фрезы и детали должны быть такими, чтобы зубья фрезы в месте соприкосновения с нарезаемыми витками двигались навстречу движению витка.

Так как фреза нарезает резьбу одновременно по всей длине и перемещается относительно детали вдоль ее оси, то длина фрезы должна быть больше нарезаемой резьбы не менее чем на два шага, учитывая и врезание.

При фрезеровании резьбы групповой фрезой ось ее располагается параллельно оси нарезаемой резьбы. Так как витки на фрезе кольцевые, то они направлены к виткам нарезаемой резьбы под углом, равным углу подъема резьбы. Это несовпадение витков фрезы и резьбы, хотя и незначительно, но искажает профиль резьбы, а потому метод фрезерования резьбы групповой фрезой ограничивается заданной точностью резьбы.

Групповыми фрезами фрезеруют, главным образом, короткие наружные и внутренние резьбы значительных диаметров в особенности на деталях, которые неудобно нарезать метчиками или плашками.

При нарезании многозаходных резьб схема фрезерования остается такой же, как и для однозаходных резьб. Шаг резьбовых кольцевых витков фрезы должен быть равен расстоянию между двумя соседними витками резьбы, но осевая подача фрезы или детали за один оборот детали должна равняться величине хода витков резьбы. Все нитки многозаходной резьбы нарезаются также в течение одного цикла, т. е. несколько больше, чем за один оборот детали.

§ 48. РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 5К63

Устройство станка

На этом станке (рис. 137) фрезеруют групповыми фрезами короткие резьбы на изделиях, закрепляемых в центрах или в патроне. На станке можно фрезеровать также и короткие внутренние резьбы.

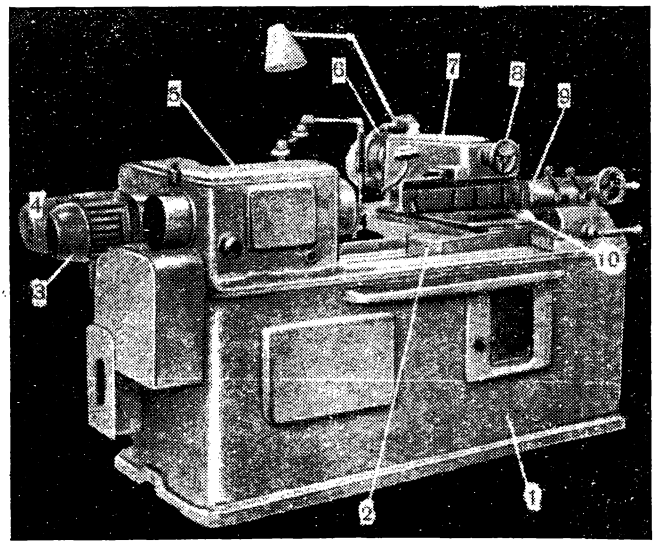


Рис. 137. Общий вид резьбофрезерного станка 5К63

На станине *1* станка закреплена неподвижно передняя бабка *5*. На продольных направляющих станины установлена каретка *2*, перемещающаяся по этим направляющим, и задняя бабка *9*, закрепляемая в определенном положении в зависимости от длины нарезаемой детали. На каретке находятся направляющие, по которым в поперечном направлении перемещается фрезерная головка *7* с помощью маховичка *8*. Станок имеет три электродвигателя: *6*— на фрезерной головке для

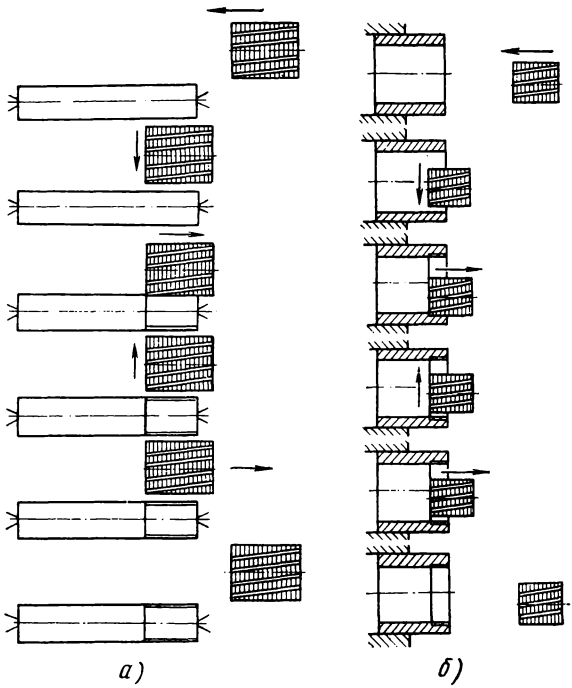


Рис. 138. Схемы перемещения фрезы за один цикл нарезания резьбы:
а — наружной, *б* — внутренней

вращения фрезы; *3* — на передней бабке для вращения шпинделя изделия, перемещения каретки и перемещения фрезерной головки при рабочем ходе и *4* — также на передней бабке для быстрых перемещений каретки и фрезерной головки при холостом ходе.

Механизм вращения фрезы и механизм передней бабки помещены в коробках, в которые через соответствующие отверстия в крышках заливается масло, вращающиеся части механизмов смазываются разбрызгиванием. Конические зубчатые колеса, связывающие движение фрезерной головки со шпинделем бабки, смазывают вручную при помощи масленок; вручную смазывают и направляющие станины. Охлаждающая жидкость подается насосом.

При работе станка шпиндель передней бабки сообщает нарезаемой заготовке только вращение; все же другие движения: подвод фрезы к заготовке, врезание, продольная подача и отвод фрезы осуществляются автоматически перемещением каретки и фрезерной головки.

Схемы перемещения фрезы за один цикл для нарезания наружной резьбы приведены на рис. 138, *а* и для внутренней — на рис. 138, *б*. Согласно этим схемам осуществляются следующие движения: быстрое продольное перемещение каретки к изделию; медленное поперечное перемещение фрезерной головки по направляющим каретки для врезания фрезы в изделие; продольное перемещение каретки в процессе врезания и при полном нарезании резьбы; медленный отвод фрезы от изделия в поперечном направлении и быстрое перемещение каретки в обратном направлении по продольным направляющим станины.

Кинематическая схема станка

Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя $Э_1$ (рис. 139) через вал *I*, червячную передачу *4* : *34*, вал *II*, сменные зубчатые колеса коробки скоростей $a_0 : b_0$, передачу зубчатых колес *24* : *24* : *24* и шпиндель *IV*, на котором закреплена фреза.

Вращение шпинделю изделия передается от электродвигателя $Э_2$, вращающего вал *V*, через цилиндрические зубчатые колеса *24* : *81*, вал *VI*, сменные колеса гитары подачи $x_п$, вал *VII* и червяк *1* червячному колесу *50*. Это колесо насажено на вал *IX* свободно, с ним соединено водило *T* дифференциала. При вращении червячного колеса водило поворачивает пальцы конических колес *25* (сателлитов) вокруг оси вала *IX*. Так как коническое колесо *28* на валу *XVII* неподвижно (при выключенном электродвигателе $Э_3$), то сателлиты, обкатываясь вокруг этого колеса, будут вращать коническое колесо *28*, закрепленное на валу *IX*, вместе с этим валом.

От вала *IX* движение передается через передачу *30* : *54* : *24* валу *X* с червяком *2*. От червяка вращательное движение сообщается червячному колесу *49* и шпинделю *XI*, на котором это колесо закреплено. Для изменения числа оборотов шпинделя изделия, в зависимости от величины окружной подачи, надо изменять передаточное отношение $x_п$ при помощи подбора сменных колес гитары подачи.

Движение для продольного перемещения каретки передается от шпинделя *XI*, согласно схеме, через передачи *57* : *38* и *38* : *38*, вал *XII*, цилиндрические зубчатые колеса *25* : *78* и *26* : *75* валу *XIII*.

Вал *XIII* вращает барабан A_1 продольного перемещения каретки. В паз барабана входит ролик, закрепленный на рейке *F*, которая скрепляется с кареткой. При перемещении рейки перемещается и каретка. Для ручного перемещения каретки рейку открепляют от каретки и рукояткой *P* вращают зубчатое колесо *10*, закрепленное в каретке; колесо катится по рейке и перемещает каретку.

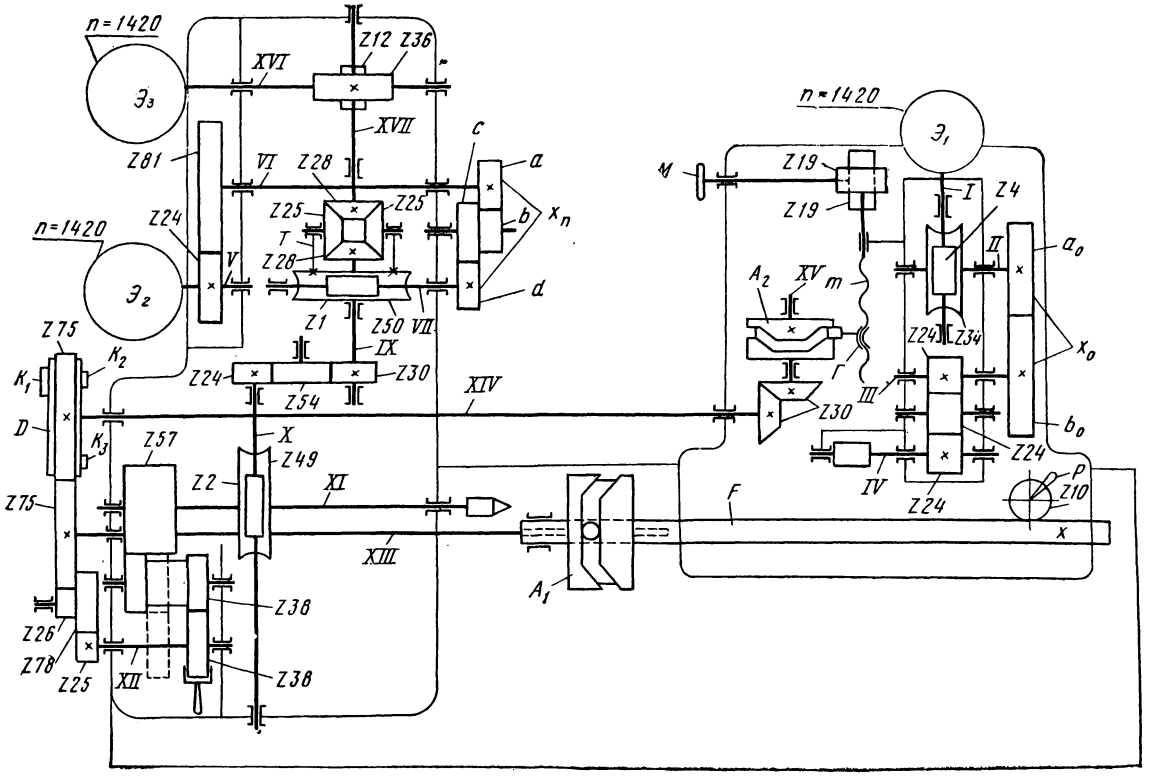


Рис. 139. Кинематическая схема резьбофрезерного станка 5К63

Барабан A_1 состоит из двух частей: самого барабана с пазом и прикрепленного к нему съемного резьбового копира. Кривая паза на резьбовом копире соответствует шагу нарезаемой резьбы (при многозаходной резьбе — ходу резьбы) и при установке копира на барабан является продолжением паза самого барабана.

Все перемещения каретки, кроме рабочего продольного хода, совершаются под воздействием паза барабана с одинаковой скоростью, независимо от размера шага нарезаемой резьбы. Рабочий продольный ход каретки при врезании и перемещении на величину шага осуществляется пазом сменного резьбового копира, укрепленного на барабане; причем за один оборот шпинделя с заготовкой резьбовый копир перемещает каретку с фрезой на один шаг (или ход) резьбы.

Движение для перемещения фрезерной головки в поперечном направлении передается от вала *XIII* через передачу *75* : *75* валу *XIV* и дальше через конические зубчатые колеса *30* : *30* валу *XV*, на котором закреплен барабан A_2 поперечного перемещения фрезерной головки. Вращением барабана A_2 при помощи ролика, входящего в его паз и скрепленного с гайкой *Г*, перемещается эта гайка. Гайка соединяется с фрезерной головкой и ее перемещение вызывает перемещение головки.

Глубина врезания фрезы регулируется при наладке установкой головки относительно нарезаемой детали. Фрезерная головка при наладке, в зависимости от величины диаметров заготовки и фрезы, устанавливается маховичком *М*, вращение которого через винтовые колеса *19* : *19* передается винту *m*, скрепленному с головкой. Когда гайка *Г* рукояткой освобождается от соединения с головкой, то винт, вращаясь, ввинчивается в гайку и перемещается вместе с кареткой (при неподвижном барабане A_2 и гайке *Г*).

Быстрое перемещение каретки и фрезерной головки при отводе и подводе фрезы к заготовке в продольном и поперечном направлениях выполняется при помощи электродвигателя $Э_3$. Движение при этом передается от вала *XVI* через передачу винтовых колес *12* : *36* валу *XVII*. Так как в это время электродвигатель $Э_2$ выключен и червячное колесо *50* не вращается, то пальцы сателлитов *25* дифференциала не поворачиваются и конические зубчатые колеса *28* дифференциала передают движение от вала *XVII* к валу *IX*, как редуктор с передаточным отношением, равным единице. Дальше от вала *IX* движение сообщается к шпинделю *XI* и барабанам A_1 и A_2 так же, как и при рабочем ходе, и перемещения каретки и фрезерной головки осуществляются таким же образом, но на быстром ходу.

На валу *XIV* вместе с шестерней *75* закреплен распределительный диск *D* с кулачками K_1, K_2, K_3 для автоматического переключения электродвигателей и автоматического выключения станка после окончания нарезания резьбы на детали. Кулачки установлены в окружных пазах и их можно при регулировке перемещать по окружности, изменяя моменты переключения. Кулачки отрегулированы и не переставляются при нарезании резьб с разными величинами шага.

Установка и крепление нарезаемых деталей

Простой и быстрый способ крепления деталей — это зажим их в цанговом патроне (рис. 140). Этим способом крепятся детали с достаточно точной цилиндрической поверхностью, расположенной вблизи нарезаемой резьбы, концентричной поверхности, на которой нарезается резьба.

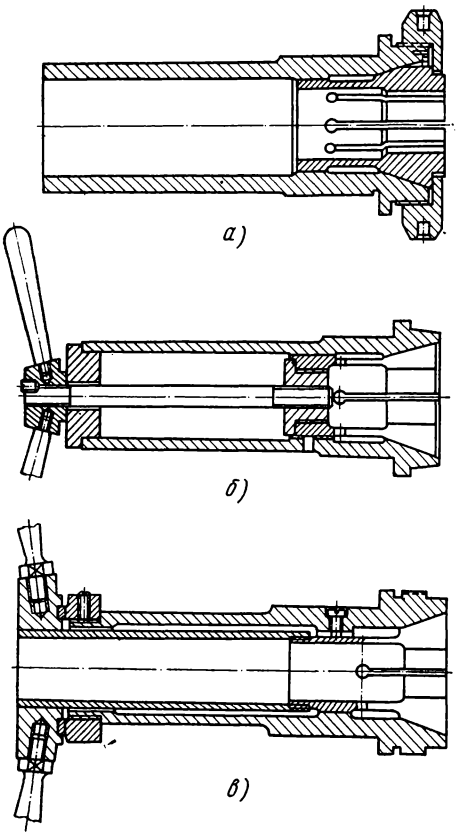


Рис. 140. Цанговые патроны для зажима заготовок

В одном случае в патроне детали крепят поворотом гайки, навинченной на передний конец шпинделя (рис. 140, *а*). В этом патроне можно крепить длинные детали и устанавливать их через полый цилиндр шпинделя, не отводя каретку от передней бабки.

В другом случае зажим цанги осуществляется втягиванием ее в шпиндель станка посредством винта, снабженного штурвалом (рис. 140, *б*). Этот вариант более удобен в обслуживании, но применим только для коротких деталей. В конструкции, изображенной на рис. 140, *в*, втягивание цанги в шпиндель производится посредством трубы.

Установку и крепление заготовки осуществляют также в универсальных трехкулачковых патронах, которые навинчивают на наружную резьбу шпинделя и центрируют по наружному цилиндрическому буртику. На фасонных деталях резьбы нарезают в специальных приспособлениях.

При нарезании резьбы на длинных деталях их поддерживают задней бабкой. Можно крепить детали и в центрах при помощи хомутика с поводком.

Резьбовые групповые фрезы

Групповая резьбовая фреза имеет форму цилиндра с кольцевой нарезкой витков и продольными канавками, образующими зубья. Фреза состоит из группы нарезанных кольцевых витков с профилем резьбы, а потому она и называется групповой фрезой.

В зависимости от диаметра фрезы изготовляют насадными или с конусным хвостовиком. Для наружных резьб фрезы делают обыкновенно насадными, так как в этом случае диаметр их значителен и их можно выполнять с отверстием и шпонкой для крепления на оправке (рис. 141, *а*). Хвостовые фрезы применяют для нарезания внутренних резьб, когда небольшой диаметр фрезы не позволяет сделать в ней отверстие для посадки на оправку.

Продольные канавки, образующие зубья фрезы, или параллельны оси фрезы (рис. 141, *б*), или направлены по винтовой линии с небольшим углом наклона (см. рис. 141, *а*). При прямых канавках резание сопровождается вибрацией, что ухудшает чистоту поверхности нарезаемой резьбы. Наклон канавок улучшает процесс резания, так как в этом случае зубья, расположенные вдоль одной канавки, вступают в контакт с нарезаемой резьбой не все сразу, а постепенно, и поэтому резание происходит плавно без перерыва. Однако у фрез с винтовыми канавками сложнее шлифовать профили витков при их затыловании.

Фрезы изготовляют только затылованными со шлифованными задними поверхностями. Передний угол γ получается между передней поверхностью и радиусом, проведенным в точку вершины зубьев. Наличие переднего угла улучшает процесс резания, но из-за него искажается угол профиля нарезаемой резьбы. Для компенсации такого

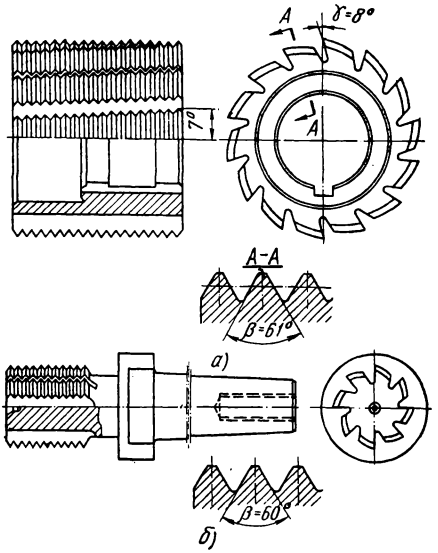


Рис. 141. Резьбовые групповые фрезы: *а* — насадная с винтовыми канавками, *б* — с хвостовиком с прямыми канавками

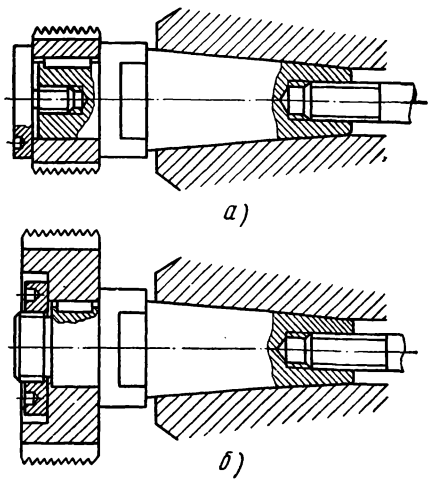


Рис. 142. Крепление групповых фрез на оправке

искажения надо корректировать угол профиля витков фрезы. Корректировку угла рассчитывают при проектировании фрезы.

На рис. 141, *а* изображена фреза с передним углом заточки и указан профиль ее зубьев с корректированным углом 61° для нарезания резьбы с углом профиля 60°. При нарезании резьбы на деталях из твердых металлов или из бронзы передний угол не выполняют и профиль зубьев не корректируют (рис. 141, *б*). Резьбовые фрезы затачивают только по передней поверхности, причем передний угол должен соответствовать чертежу, иначе получится неправильный профиль резьбы. В основном фрезы изготовляются из быстрорежущей стали марки Р18.

Номинальными размерами фрезы являются: наружный диаметр, шаг и угол профиля резьбы. В маркировке фрезы должно быть указано: номер чертежа фрезы (индекс), материал, шаг, угол профиля, угол поднутрения передней грани, угол наклона винтовых канавок и их шаг (шаг спирали).

Фрезерные шпиндели обычно имеют коническое отверстие, в которое вставляется конический хвостовик оправки или фрезы и затягивается болтом. Такое крепление отличается простотой, надежностью и хорошим центрированием. Обычное крепление групповой резьбовой фрезы на оправке показано на рис. 142. Фреза насаживается на оправку на шпонке и крепится с торца специальным винтом с широкой головкой (рис. 142, *а*). При фрезеровании резьбы, расположенной близко к поверхности с большим диаметром, в фрезе делается выточка, в которую входит зажимающая гайка или винт (рис. 142, *б*).

Расчеты при наладке станка

Расчет сменных зубчатых колес для изменения числа оборотов фрезы. Скорость фрезерования назначается по нормативам. Число оборотов фрезы в минуту рассчитывают по общей формуле

$$n_ф = 318\,\frac{v}{d_ф}.$$

Сменные колеса выбирают в зависимости от числа оборотов фрезы по таблице, приведенной в руководстве к станку.

Расчет сменных зубчатых колес гитары окружной подачи. Окружной подачей $s_м$ в минуту называется длина пути перемещения витка резьбы в миллиметрах относительно зубьев фрезы. Подача в минуту зависит от величины s_z подачи на один зуб фрезы в миллиметрах и числа оборотов фрезы $n_ф$ в минуту. Приняв s_z по нормативам, определяют подачу в минуту по формуле $s_м = s_z z n_ф$ (где z — число зубьев фрезы).

Если диаметр заготовки $d_з$ и число оборотов ее в минуту $n_з$, то $s_м = \pi d_з n_з$ или $n_з = \frac{s_м}{\pi d_з}$. Зная $d_з$ и $s_м$, определяем число оборотов заготовки $n_з$.

Для установления необходимого числа оборотов заготовки $n_з$ рассчитываются сменные колеса гитары окружной подачи по формуле

$$x_п = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = 1{,}304 n_з.$$

Сменные колеса принимают и по таблице, приведенной в руководстве к станку, в зависимости от назначенного числа оборотов заготовки.

Наладка станка

Установка заготовки. Заготовку следует устанавливать в патрон или приспособление так, чтобы место начала нарезки было всегда на одинаковом расстоянии от торца шпинделя передней бабки. Если деталь имеет на ненарезаемой части бурт, то он и является упором для установки; если бурта нет, то надо в зажимном патроне предусмотреть соответствующий упор, в который деталь должна упираться концом или другой какой-либо частью, в зависимости от ее конфигурации.

При креплении заготовки в цанговом патроне или в центрах она хорошо центрируется; если же заготовка крепится в трехкулачковом патроне, то необходимо проверять ее на биение.

Установка фрезы относительно детали. При наладке станка фрезу устанавливают относительно детали следующим образом.

Поворотом рукоятки *10* (см. рис. 137) фрезерная головка освобождается от связи с механическим перемещением и вращением маховичка *8*, отодвигается назад от изделия так, чтобы фреза находилась от заготовки не менее чем на 12 *мм* и опять закрепляется рукояткой.

Затем включаются электродвигатели, и когда каретка переместится вдоль стола в свое крайнее левое положение (к шпинделю изделия), а фрезерная головка переместит фрезу в крайнее переднее положение электродвигатели выключаются. При таком положении ролики в пазах барабанов A_1 и A_2 (см. рис. 139) занимают наинизшее положение.

Затем отпускают гайки, скрепляющие рейку *F* с кареткой, и вращением от руки четырехгранника перемещают каретку в продольном направлении до начала рабочего положения фрезы относительно нарезаемой резьбы, после чего гайки затягивают вновь.

Фрезерная головка освобождается рукояткой *10* (см. рис. 137), и электродвигатели включаются. Вращением маховичка *8* перемещается фрезерная головка по направлению к изделию до тех пор, пока папиросная бумага, помещенная между изделием и фрезой, не будет разрезана. В этом положении фрезерная головка закрепляется рукояткой *10*. Когда каретка под действием барабана A_1 (см. рис. 139) выйдет за пределы детали вправо, электродвигатели выключаются.

Лимб отпускается на оси маховичка *8* (см. рис. 137) и его нулевое деление без вращения маховичка устанавливается против указателя; в таком положении лимб закрепляется. После этого рукояткой *10* освобождается каретка и маховичок *8* поворачивается против часовой стрелки на один оборот для отвода головки немного назад. Затем по-

воротом маховичка вместе с лимбом по часовой стрелке устанавливают нулевое деление против указателя и этим устраняют зазоры в механизме перемещения.

Вращением маховичка вместе с лимбом по часовой стрелке фреза передвигается вперед на глубину резьбы. Величина перемещения отсчитывается по лимбу. Один поворот маховичка с лимбом перемещает головку на 2 *мм*, а одно деление на лимбе соответствует перемещению на 0,02 *мм*. В этом положении фрезерная головка закрепляется вновь рукояткой *10*. Этим заканчивается установка каретки и фрезерной головки.

Переналадка станка на другой шаг резьбы. Для переналадки станка на другой шаг резьбы необходимо, кроме установки фрезы, сменить резьбовой копир на барабане A_1 (см. рис. 139). Копир сначала закрепляется слабо крепежными винтами, потом плотно прижимается боковыми винтами к боковой плоскости барабана и окончательно затягивается крепежными винтами.

Все движения на станке: подвод фрезы к заготовке, врезание, рабочий ход, отвод фрезы и остановка станка — выполняются автоматически.

§ 49. РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 561

Устройство станка

Станок предназначен, главным образом, для нарезания наружных резьб дисковыми фрезами. Кроме того, на нем можно нарезать винты с большим шагом, модульные червяки, прямые канавки вдоль оси детали и продольные шлицы червячными фрезами по методу обкатки. Можно нарезать резьбу и групповыми фрезами.

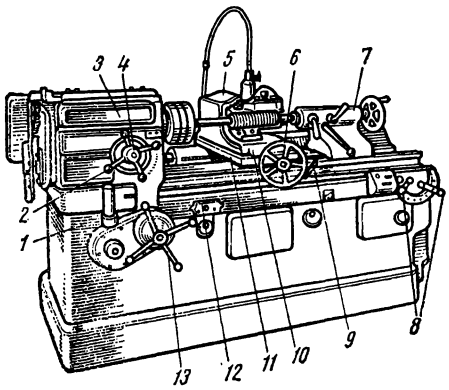


Рис. 143. Общий вид резьбофрезерного станка 561

Общий вид станка приведен на рис. 143. На станине *1* укреплена неподвижно передняя бабка *3*, в шпинделе которой крепится нарезаемая деталь. Штурвал *2* служит для переключения механизма на разные виды работ, а кнопка *4* — для переключения реверса. Станина имеет продольные направляющие, на которых закрепляется в необходимом положении задняя бабка *7* с поддерживающим центром. По этим же направляющим перемещается каретка *11*. Вдоль поперечных направляющих каретки движется перпендикулярно станине суппорт *10*, на котором установлена фрезерная головка *5* со шпинделем для креп-

ления фрезы. Установка числа оборотов фрезы осуществляется рукояткой *8*. Фрезерная головка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной направляющим станины, и устанавливать шпиндель фрезы относительно оси изделия на угол скрещивания от 0 до 90°. Поперечное перемещение салазок с фрезерной головкой осуществляется маховичком *6*.

Управление переключателем во время работы производится рукояткой *9*, а коробки подач — штурвалом *13*.

Автоматическое переключение хода станка осуществляется от упора *12*.

Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка 561 изображена на рис. 144, а структурная — на рис. 145. Все механизмы станка получают движение от одного электродвигателя.

Вращение фрезы при всех видах нарезания передается по одной кинематической цепи. От электродвигателя *Э* через пару шкивов D_1 и D_2 вращается вал *I*. От этого вала на вал *II* передается два вращения через две пары зубчатых передач *23* : *49* или *29* : *43*, переключение которых совершается при перемещении блока зубчатых колес *23* и *29*. От вала *II* каждое из этих двух вращений может передаваться валу *III* также через передачи *23* : *49* или *36* : *36* при перемещении блока колес *36* и *49*. Таким образом, вал *III* получает через зубчатые передачи четыре различных числа оборотов. Кроме того, вал *I* и вал *III* могут соединяться непосредственно при помощи торцовых зубьев на блоках. Таким образом, вал *III* имеет пять разных чисел оборотов. Дальше движение к фрезе передается согласно кинематической и структурной схемам.

Вращение шпинделя передней бабки и перемещение каретки при выполнении разных видов нарезки осуществляется по разным кинематическим цепям. При всех видах нарезки движения шпинделю передней бабки, фрезе и каретке сообщаются валом *III*. При нарезании резьбы и фрезеровании продольных канавок без обкатки движение от вала *III* передается через конические зубчатые колеса *45* : *54* реверса, переключаемые муфтой M_4, через вал *V* и постоянные съемные зубчатые колеса *47* : *47* валу *VI*. При нарезании шлицев методом обкатки вместо этих колес устанавливают колеса гитары обкатки $x_{об}$.

Медленное рабочее движение от вала *VI* передается при помощи звездочек *18* : *18* цепной передачи валу *VII* и через коробку передач и конические зубчатые колеса *28* : *28* валу *XVIII*. Коробка передач предназначена для изменения окружной подачи заготовки, а при нарезании шлицев червячной фрезой с обкаткой — для изменения величины подачи каретки.

При быстром обратном ходе и при быстром перемещении каретки вперед передача движения от вала *VI* совершается, минуя коробку передач, либо при помощи передачи *32* : *32* валу *XIII*, или передачи *32* : *32* гильзе *XVII*. Вал *XIII* проходит внутри гильзы *XVII* и может

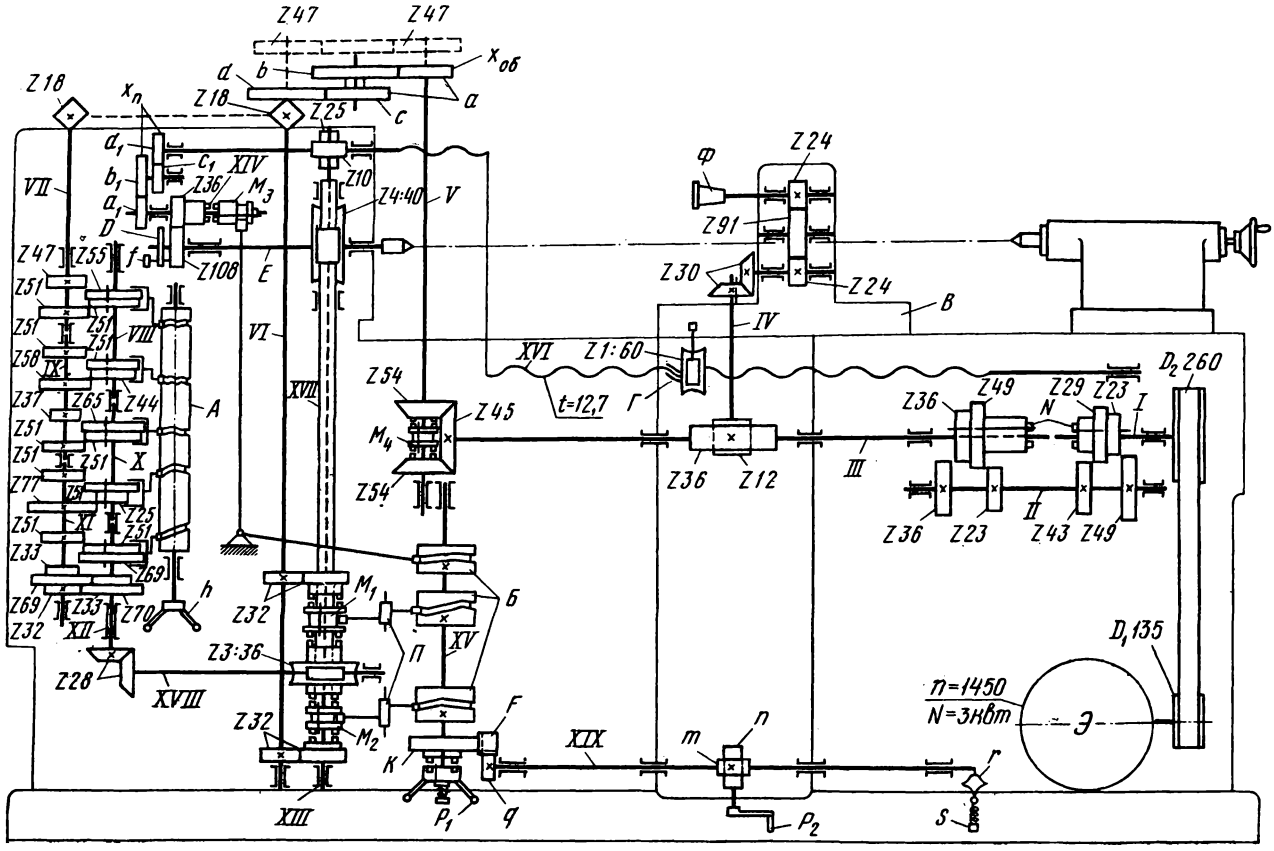


Рис. 144. Кинематическая схема станка 561

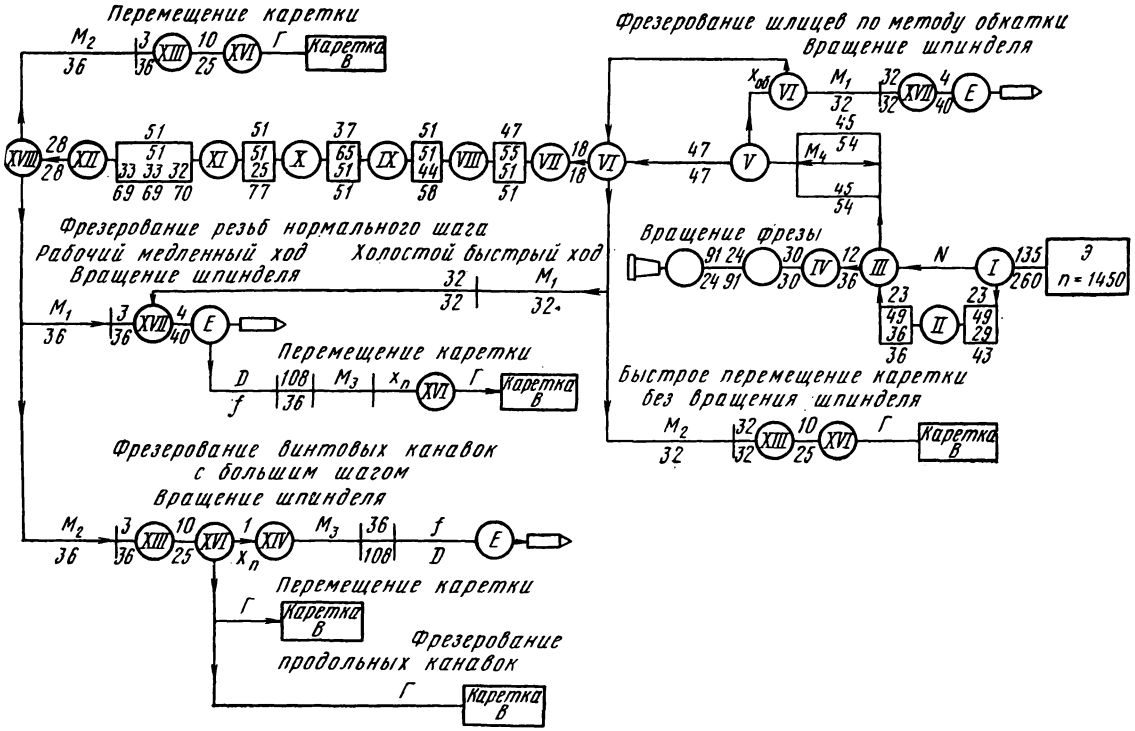


Рис. 145. Структурная схема станка 561

в ней вращаться. На валу *XIII* насажено свободно зубчатое колесо *32* с кулачками на торце и муфта M_2 на шпонке.

На гильзе *XVII* свободно насажены цилиндрическое зубчатое колесо *32* с кулачками на торце и червячное колесо *36* с кулачками на обоих торцах. Между колесами *32* и *36* насажена муфта M_1 на шпонке.

Переключением муфт M_1 на гильзе *XVII* и M_2 на валу *XIII* осуществляется передача на рабочий или холостой ход. При включении муфты M_1 вниз вал *XIII* получает вращение от вала *VI* через передачу *32* : *32*, при включении вверх — от вала *XVIII* через передачу *3* : *36* и коробку передач.

При включении муфты M_1 вверх гильза *XVII* получает вращение от вала *VI* через передачу *32* : *32*; при включении вниз — от вала *XVIII* через передачу *3* : *36* и коробку передач.

Передача движения по отдельным кинематическим цепям при разных видах нарезания совершается следующим образом.

Цепь I. Фрезерование резьбы нормального шага.

1. Рабочий медленный ход. При рабочем ходе шпиндель должен вращаться медленно. Муфта M_1 включается с червячным колесом *36*; муфта M_2 отключена и находится в нейтральном положении. Движение передается от коробки передач через конические зубчатые колеса *28* : *28*, вал *XVIII*, червячную передачу *3* : *36*, гильзу *XVII* и червячную передачу *4* : *40*. Червяк этой передачи закреплен на гильзе, а червячное колесо — на шпинделе *E* и вращает его.

Передача движения к каретке *B* происходит от шпинделя *E*, на котором закреплен диск *D* и насажено свободно зубчатое колесо *108*. Защелка *f* включает диск *D* с зубчатым колесом, а муфта M_3 включается с колесом *36*, сидящим на валу *XIV* свободно. Движение от шпинделя передается через колеса *108* : *36* и гитару подач $x_п$ каретки винту *XVI*, который ввинчивается в гайку *Г* и перемещает ее вместе с кареткой.

2. Холостой быстрый ход. При обратном холостом ходе муфта M_1 переключается вверх и соединяется с зубчатым колесом *32* гильзы *XVII*. Движение от вала *VI* через передачу *32* : *32* передается гильзе *XVII*, которая быстро вращается и передает движения шпинделю и каретке.

3. Быстрое перемещение каретки без вращения шпинделя. Для такого перемещения муфта M_1 и муфта M_3 выключаются, а муфта M_2 отводится вниз и соединяется с колесом *32*, закрепленным на валу *XIII*. Вращение от вала *VI* через цилиндрическую зубчатую передачу *32* : *32*, вал *XIII* и винтовую передачу *10* : *25* передается винту *XVI*, который при помощи гайки *Г* быстро перемещает каретку *B* вперед. Так как муфта M_3 отключена, то вращение винта не передается через гитару подач $x_п$ шпинделю и он не вращается.

Описанный порядок передачи движения относится как к процессу нарезания дисковыми, так и групповыми фрезами, только при фрезеровании групповыми фрезами заготовка делает один оборот, а при фрезеровании дисковыми фрезами — несколько оборотов.

Цепь II. Фрезерование винтовых канавок с большим шагом:

1. Вращение шпинделя. При рабочем ходе муфта M_2 соединяется с червячным колесом *36* (вверх); муфта M_1 должна быть отключена, защелка *f* соединяет диск *D* с зубчатым колесом *108*, а муфта M_3 соединяется с колесом *36*. От вала *XVIII* вращение передается через червячную передачу *3* : *36*, вал *XIII* и винтовую передачу *10* : *25* винту *XVI* и дальше через гитару подач $x_п$ в направлении от зубчатого колеса d_1 к колесу a_1, через цилиндрическую пару колес *36* : *108*, защелку *f* и диск *D* шпинделю *E*.

2. Перемещение каретки. Винт *XVI* при вращении перемещает гайку *Г* и каретку.

После фрезерования одной винтовой канавки защелку *f* выводят из зацепления с делительным диском и шпиндель с изделием поворачивают на $\frac{1}{K}$ оборота, где *K*—число винтовых канавок по окружности изделия (число заходов).

Цепь III. Фрезерование дисковой фрезой продольных канавок. При фрезеровании продольных канавок параллельных оси фрезерную головку надо повернуть вокруг ее горизонтальной оси так, чтобы ось шпинделя скрестилась с осью заготовки под прямым углом и средняя плоскость диска фрезы прошла через ось заготовки.

Движение при рабочем ходе происходит так же, как и в цепи *II*, т. е. при включении муфты M_2 с червячным колесом *36*, но только в этом случае отключается муфта M_3, благодаря чему шпиндель изделия не получает вращения, а перемещается только каретка при помощи гайки *Г*. После фрезерования одной канавки шпиндель поворачивается при помощи защелки *f* и диска *D* к следующей канавке, как и при фрезеровании винтовых канавок.

Цепь IV. Фрезерование червячной фрезой продольных шлицев методом обкатки:

1. Движение от вала *III* через реверсивные конические зубчатые колеса передается валу *V*. В этом случае между валами *V* и *VI* вместо колес *47* : *47* устанавливают сменные зубчатые колеса гитары обкатки x_0, которые определяют соотношение вращения шпинделя изделия и фрезы в процессе обкатки. Валу *VI* движение сообщается от этих колес.

2. Вращение шпинделя. При рабочем ходе муфта M_1 входит в зацепление с зубчатым колесом *32* (вверх). Вращение шпинделю передается от вала *VI* через передачу *32* : *32*, гильзу *XVII* и червячную передачу *4* : *40*. Червячное колесо этой передачи вращает шпиндель.

3. Перемещение каретки. Муфта M_2 входит в зацепление с червячным колесом *36* (вверх). Муфта M_3 выходит из зацепления для выключения гитары подачи $x_п$.

Движение каретке передается от того же вала *VI* и через передачу *18* : *18* сообщается коробке передач, а от нее через конические зубчатые

колеса *28* : *28*, вал *XVIII*, червячную передачу *3* : *36*, вал *XIII* и зубчатую винтовую пару *10* : *25* винту *XVI*. Винт при помощи гайки *Г* перемещает каретку.

Переключение коробки передач

Коробка передач состоит из шести валов, расположенных по двум параллельным осям. При помощи переключения пяти двухшестеренчатых блоков на валах, как указано на кинематической и структурной схемах, коробка осуществляет 32 разных скорости окружной подачи заготовки с передаточным отношением от 0,025 до 1,0.

Шестеренчатые блоки переключаются штурвалом *h*, вращающим барабан *А* с пятью криволинейными пазами, в которых заложены пальцы, соединенные с вилками. При вращении барабана пальцы перемещаются по пазам и при помощи вилок перемещают блоки зубчатых колес.

Переключение механизма станка для разных видов нарезания

Переключение муфт в зависимости от рода выполняемой работы осуществляется рукоятками P_1 или P_2 (см. рис. 144). Станок может настраиваться на одну из рассмотренных четырех кинематических цепей. В соответствии с этим рукоятку P_1 устанавливают в одно из четырех положений, надписанных на ее ступице. Для переключения механизма рукоятку оттягивают на себя и поворачивают в требующееся положение. Рукоятка насажена на валик *XV* и имеет в ступице четыре отверстия, в которые может входить штифт зубчатого колеса *К*, свободно сидящего на этом же валике и сцепляющегося с рейкой *F*. При установке штифта в отверстие ступицы рейка удерживает от вращения шестерню и рукоятку.

На валике *XV* закреплены три барабана *Б* с криволинейными канавками, в которые входят пальцы рычага и двух ползушек *П*, соединенных с вилками для переключения муфт M_1, M_2, M_3. При вращении валика *XV* рукояткой P_1 криволинейные канавки барабана через ползушки и вилки перемещают эти муфты.

Переключение станка в процессе работы на рабочий ход, останов, быстрый ход вперед и обратный быстрый ход производится тем же барабаном *Б*, которым переключают муфты. Управление переключением осуществляется рукояткой P_2, смонтированной в каретке *В* и перемещающейся вместе с ней. Рукоятка через передачу винтовых зубчатых колес *m* и *n* поворачивает длинный валик *XIX*, идущий вдоль всей станины. На левом конце этого валика закреплено зубчатое колесо *q*, перемещающее рейку *F*. Рейка поворачивает колесо *К* и рукоятку P_1 при помощи штифта, входящего в отверстие ступицы рукоятки. Таким образом, поворот рукоятки P_2 также вращает валик *XV*, переключающий муфты.

На правом конце валика *XIX* закреплен рычажок *r*, имеющий четыре выступа, которые нажимают на пусковую кнопку *S* и включают электродвигатель. Когда ролик пусковой кнопки попадает во впадину рычажка, электродвигатель выключается и станок останавливается.

Дисковые резьбовые фрезы

Дисковые фрезы для нарезания длинных резьб применяют как с острозаточенными, так и с затылованными зубьями. Для нарезания резьбы обычно используют острозаточенные фрезы, так как они при одном и том же диаметре имеют большее число зубьев, чем затылованные, благодаря чему в контакте с нарезаемым витком всегда находится большее число зубьев, что обеспечивает равномерность процесса резания.

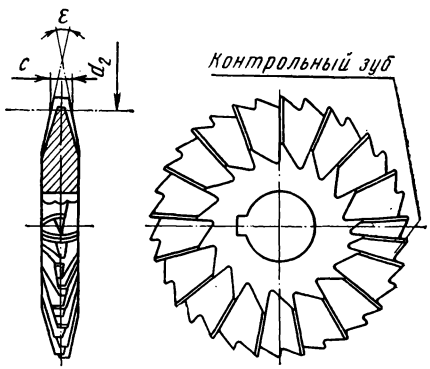


Рис. 146. Дисковая острозаточенная фреза с раскошенными зубьями

Наибольшее распространение получили острозаточенные фрезы с попеременно раскошенными зубьями (рис. 146). Такая конструкция фрезы позволяет увеличить число зубьев и улучшает условия резания, так как каждый зуб на боковом профиле работает кромкой с передним углом заточки. Для контроля угла профиля и ширины зубьев один зуб делается полным с режущими кромками на обеих сторонах профиля.

Зубья фрезы должны иметь угол профиля и толщину на уровне среднего диаметра резьбы, равные углу профиля и ширине впадины резьбы в сечении, перпендикулярном к ширине впадины. Угол ε профиля зубьев фрезы определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta,$$

где α — угол профиля резьбы, а β — угол подъема витка. Толщина зубьев фрезы на уровне среднего диаметра резьбы равна $c = b \cdot \cos \beta$, где *b* — ширина впадины резьбы по среднему диаметру, параллельная оси резьбы.

Если дисковая фреза изготовляется с передним углом заточки γ у вершины, то угол ε, рассчитанный по приведенной формуле, корректируется в зависимости от величины переднего угла, как об этом уже говорилось при рассмотрении групповых резьбовых фрез.

При крупном шаге винта, например, при нарезании червяков значительного модуля применяют затылованные фрезы.

Номинальными параметрами дисковых резьбовых фрез являются: наружный диаметр фрезы, шаг и угол профиля резьбы, для которой

она предназначается. В маркировке фрезы указываются номинальные размеры, передний угол γ, номер чертежа и материал, из которого изготовлена фреза (обычно быстрорежущая сталь марки Р18).

Крепление дисковых фрез в фрезерном шпинделе аналогично креплению групповых резьбовых фрез.

Устанавливается фреза относительно витка резьбы так, чтобы плоскость диска ее была направлена по касательной к витку резьбы, т. е. чтобы профиль зубьев фрезы был расположен в плоскости, нормальной к впадине витка резьбы. Для этого нужно повернуть фрезерную головку, наклонив ось шпинделя фрезы на угол, равный углу подъема резьбы.

Наладка станка

Для наладки станка на заданный вид нарезки необходимо установить штурвал *2* (см. рис. 143) в соответствии с надписями на его ступице и выполнить необходимые установки для данного вида нарезки.

Для нарезания резьбы и продольных канавок необходимо осуществить следующие вычисления и установки:

1. В гитару обкатки установить съемные зубчатые колеса с передаточным отношением *1* : *1*.

2. Выбрать величину окружной подачи на один зуб фрезы s_z и определить величину минутной подачи по формуле:

$$s_м = s_z z n_ф$$

3. Рассчитать передаточное отношение коробки передач по одной из формул:

а) при нарезании резьб с шагом не большим, чем у стандартных резьб

$$i_п = \frac{15{,}287 s_м}{d n_ф};$$

б) при нарезании резьб с большим шагом

$$i_п = \frac{s_м \sin\beta}{1{,}06 n_ф};$$

в) при нарезании продольных канавок

$$i_п = \frac{s_м}{1{,}06 n_ф},$$

где d — диаметр резьбы; β — угол подъема витка резьбы; $n_ф$ — число оборотов фрезы.

4. Выбрать из таблицы, приведенной в руководстве к станку, передаточное отношение коробки передач, ближайшее к рассчитанному, и установить штурвалом *13* число на лимбе, соответствующее выбранному отношению.

5. Рассчитать передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары подач каретки по формуле:

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{H}{38,1} \text{ (}H\text{ — ход нарезаемой резьбы),}$$

подобрать по этому отношению сменные колеса из имеющихся на станке и установить их в гитару, находящуюся в передней бабке сзади шпинделя. Расчет и подбор сменных колес следует выполнять с большой точностью, до пятого десятичного знака. При фрезеровании продольных канавок сменные колеса гитары $x_п$ не рассчитывают.

Для нарезания шлицев червячной фрезой с обкаткой необходимо:

1. Рассчитать сменные зубчатые колеса гитары обкатки по формуле:

$$x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{4K}{z},$$

(где K — число заходов фрезы, z — число нарезаемых шлицев) и установить их в гитару.

2. Определить передаточное отношение коробки передач по формуле

$$i_п = \frac{s_0}{4,23},$$

(где s_0— подача каретки за один оборот шпинделя) и установить подачу штурвалом *13*, как и при нарезании резьбы.

Для наладки при всех видах работ необходимо сделать следующее:

1. По выбранной скорости резания определить при помощи формулы $n_ф = \frac{318v}{D_ф}$ число оборотов фрезы и установить рукоятками *8* (см. рис. 143) ближайшее число оборотов, имеющееся на станке (станок может давать 54, 3; 78; 116; 167 и 247 оборотов в минуту).

2. Установить ось шпинделя фрезы на угол подъема резьбы при работе дисковой фрезой. При нарезании прямых канавок угол установки равен 90°, а при нарезании шлицев червячной фрезой угол установки равен углу подъема витков червячной фрезы. Для установки шпинделя фрезы отжимают болт и поворачивают фрезерную головку. Величина угла поворота отсчитывается по шкале, нанесенной на корпусе головки.

3. При нарезании первой детали надо вручную передвинуть каретку по продольным направляющим станка и установить фрезы в исходное положение. После этого устанавливают упор для автоматического переключения рукоятки *9*. Потом при помощи маховичка *6* перемещают поперечные салазки с фрезерной головкой в поперечном направлении до получения необходимых размеров глубины нарезки и устанавливают упор, ограничивающий перемещение салазок. По окончании фрезерования резьбы по всей длине устанавливают второй упор *12*, переключающий рукоятку *9* при продольном перемещении каретки.

§ 50. ПЛАНЕТАРНЫЙ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК

Если деталь сложной формы и ее неудобно вращать вокруг оси, то нарезают резьбу при неподвижной детали. При этом фреза совершает вращение вокруг своей оси и оси нарезаемой резьбы. Такое двойное вращение называется *планетарным* (рис. 147).

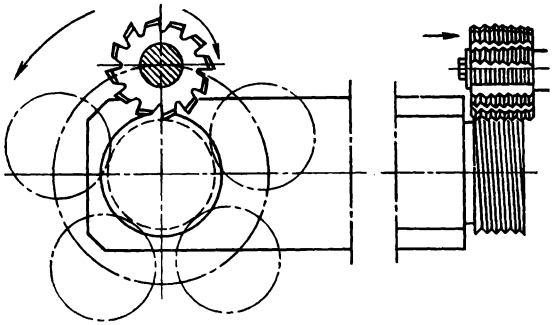


Рис. 147. Схема планетарного фрезерования наружной резьбы

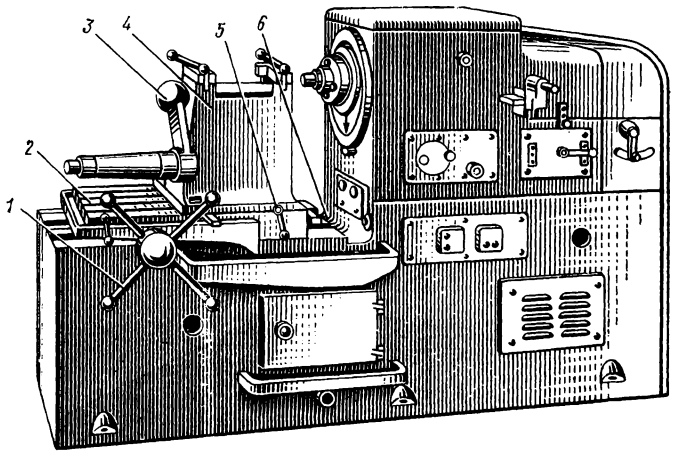


Рис. 148. Общий вид планетарного резьбофрезерного станка

В этом случае выполняются три движения:

быстрое вращение фрезы вокруг своей оси,

вращение шпинделя с фрезой вокруг оси нарезаемой резьбы,

подача фрезы вдоль оси резьбы на шаг за один оборот шпинделя вокруг резьбы.

Общий вид планетарного резьбофрезерного станка изображен на рис. 148. Работа станка осуществляется по полуавтоматическому цик-

лу. Заготовку *3* устанавливают в приспособление *4* и зажимают. Стол *2* штурвалом *1* подводят в рабочее положение до упора *6* и закрепляют двумя болтами *5*. Дальнейшие движения (подвод фрезы в продольном направлении, радиальное врезание фрезы, рабочий ход, планетарное движение, отвод фрезы и остановка станка) производятся автоматически.

Вращение фрезы и шпинделя *1* (рис. 149) и настройка станка для фрезерования наружной и внутренней резьбы разных диаметров выполняются следующим образом. Вокруг оси O_2 вращается втулка *2*,

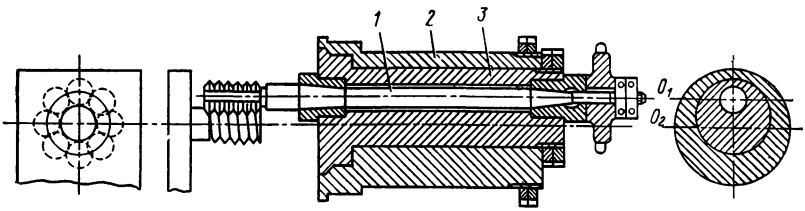


Рис. 149. Схема планетарного движения при фрезеровании резьбы

в которую вставлена эксцентрично втулка *3*. В этой втулке имеется отверстие O_1, расположенное также эксцентрично относительно ее наружного цилиндра. Втулка *3* при нарезании резьбы данного диаметра закрепляется во втулке *2*. При вращении этой втулки вокруг оси O_2 вместе с ней вращается и втулка *3*. Расстояние между осями O_1 и O_2 равно эксцентриситету *e*. Ось O_1 описывает вокруг оси O_2 окружность, равную диаметру нарезаемой резьбы.

Для нарезания резьбы другого диаметра меняют величину эксцентриситета в соответствии с требуемым диаметром резьбы. Так как величина эксцентриситета изменяется в ограниченных пределах, то диаметры резьбы можно фрезеровать не превышающими двойной величины эксцентриситета.

Планетарное движение при фрезеровании наружной и внутренней резьбы осуществляется одинаково, только фрезу по отношению к заготовке устанавливают по-разному. При нарезании наружной резьбы фреза касается наружного диаметра резьбы, при нарезании внутренней резьбы — внутреннего.

Соотношение направления вращения фрезы и шпинделя для наружной и внутренней резьб получается не одинаковое. Для наружной резьбы вращение оси фрезы и шпинделя вокруг оси резьбы имеют разные направления, для внутренней резьбы — одинаковое.

§ 51. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ БРАКА ПРИ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИИ И ПРИЧИНЫ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ

При нарезании резьбы групповыми фрезами чаще всего появляются следы там, где замыкаются участки витков, нарезанные разными кольцевыми зубьями фрезы. Это происходит вследствие нежесткости креп-

ления фрезы или заготовки. Нежесткое крепление при нарезании как групповыми фрезами, так и дисковыми приводит и к другому виду брака — ряби на резьбе, получающейся вследствие вибрации детали или фрезы. Рябь может появиться также из-за небольшого количества зубьев на фрезе.

Дефектом нарезаемой резьбы может быть и недостаточная чистота ее поверхности. В этом случае надо уменьшить окружную подачу и увеличить в допустимых пределах скорость резания.

Конусность может образоваться в случае нарезания резьб на длинных деталях. Чтобы этого не случилось, надо, где позволяет конструкция станка, подпирать деталь задним центром.

Неравномерность шага шлицев при нарезании методом обкатки может получиться при неточной установке сменных зубчатых колес гитары обкатки. Их надо устанавливать без зазоров в зацеплении, но так, чтобы они поворачивались свободно, без заклинивания.

Неравномерность шага при нарезании многозаходных винтов дисковой фрезой получается в случае неисправности делительного диска или защелки на шпинделе передней бабки. Защелка должна плотно заходить в паз диска.

ГЛАВА X

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 52. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Изготовление любого изделия на предприятии требует целого ряда организационных мероприятий и комплекса работ.

Совокупность определенных процессов, связанных с переработкой сырья и полуфабрикатов в заготовки, готовые детали, узлы и механизмы машин, называется *производственным процессом*.

Производственный процесс состоит из нескольких отдельных этапов, отличающихся характером и организацией производимых работ.

Наиболее важное место в производстве занимают технологические процессы.

Технологическим процессом называется часть производственного процесса, непосредственно связанная с изменением форм, размеров и свойств обрабатываемых заготовок и осуществляемая в определенной последовательности.

Технологический процесс механической обработки состоит из двух стадий: составления плана технологического процесса с разработкой технологической документации и собственно технологического процесса, т. е. обработки заготовок для получения готовых деталей и контроля их.

Технологический процесс складывается из отдельных элементов, на которые разрабатывается технологическая документация. Законченным элементом технологического процесса механической обработки является операция.

Технологической операцией называется часть процесса обработки, выполняемая на одном рабочем месте от начала установки детали на станок до момента снятия ее со станка после обработки. Например, черновое и чистовое нарезание зубьев колеса, производимое последовательно одно за другим, будет составлять одну операцию. Если же вначале производится черновое нарезание всей партии заготовок, а потом чистовое, то это уже две операции, хотя они могут выполняться на одном и том же станке. Основными элементами операции являются: переход, проход, установка и позиция.

Переход — это часть операции, осуществляемая одним и тем же инструментом (или несколькими одновременно работающими инструментами) без изменения режима резания при обработке одной и той же поверхности.

Проходом называется перемещение режущего инструмента по обрабатываемой поверхности, сопровождаемое съемом слоя металла при неизменных установке инструмента и режиме резания.

Например, зубья колеса на зубодолбежных станках часто нарезают в несколько проходов, причем во время каждого отдельного прохода режим работы станка не изменяется.

Установка — часть операции, выполняемая без изменения положения обрабатываемой заготовки, т. е. при неизменном ее закреплении. При одной установке может выполняться вся операция или часть ее с соответствующими переходами при необходимом числе проходов.

Позицией называется часть операции, выполняемая без изменения положения обрабатываемой заготовки относительно станка и зажимного устройства.

По виду операции подразделяются на токарные, сверлильные, зубофрезерные и т. д. Кроме того, в зависимости от величины снимаемого слоя металла операции подразделяются на черновые, чистовые и отделочные.

Если обрабатываемые поверхности на протяжении всего технологического процесса подвергаются разным видам обработки, то операции при каждом виде обработки могут подразделяться на черновые и чистовые. Например, при фрезеровании зубьев выполняется черновое и чистовое фрезерование, а при последующем долблении или шлифовании зубьев может выполняться черновое и чистовое долбление или шлифование.

Величина слоя металла, удаляемая в течение всего процесса обработки данной поверхности, называется *общим припуском* (припуском заготовки), а удаляемая при выполнении отдельных операций, называется *операционным припуском*.

При черновых операциях снимается основная часть общего припуска и обрабатываемые поверхности по форме и размерам значительно приближаются к форме и размерам готовой детали. Чистовые операции выполняют с большей точностью, чем черновые, они подготавливают поверхности детали к окончательной отделке, а иногда чистовые операции являются и окончательными. После окончательной операции деталь приобретает форму и чистоту поверхностей, заданные чертежом.

Разновидностью окончательных операций являются отделочные операции или отделочные проходы, характеризующиеся снятием очень малых припусков, или же производимые без подачи на глубину резания, например отделочные проходы при шлифовании или шевинговании зубьев.

§ 53. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Виды производства

Составление плана технологического процесса и разработку технологической документации на одни и те же изделия и отдельные детали выполняют в различных вариантах, отличающихся как сочетанием отдельных операций, так и способом их выполнения.

Основное значение при разработке плана технологического процесса имеет количество выпускаемой предприятием продукции в определенное время и количество одних и тех же деталей, обрабатываемых на данном оборудовании.

В зависимости от производственной программы и характера изготовляемой продукции различают три вида производства: единичное, серийное и массовое.

При единичном производстве изготовляемая продукция выпускается в небольших количествах (единицами), поэтому применяется преимущественно универсальное оборудование, на котором выполняют разнообразные работы, периодически не повторяющиеся, без применения специальных приспособлений и инструментов.

При серийном производстве детали изготовляют повторяющимися партиями (сериями). Применяется в основном универсальное оборудование, оснащенное специальными приспособлениями и инструментом. В зависимости от количества деталей в партии, их характера, трудоемкости их обработки и частоты повторяемости серий различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

При массовом производстве выпускают один и тот же тип изделия в большом количестве. Операции обработки деталей ведутся на отдельных рабочих местах; широко применяется специальное оборудование, предназначенное для выполнения операций обработки определенных деталей. Оборудование располагается в технологической последовательности (потоком), применяется автоматизация процессов обработки.

Заготовки зубчатых колес

Характер заготовок для зубчатых колес зависит от размеров деталей, их конфигурации, технологических требований, предъявляемых к материалу заготовок, и от масштаба производства.

Подавляющее большинство цилиндрических и конических колес изготовляется из стальных штампованных или кованых заготовок без предварительного формирования зубьев. Заготовки значительных размеров выполняются отливкой (без зубьев) из стали или чугуна, а венцы червячных колес — из чугуна или бронзы.

Штамповкой в горячем состоянии получают заготовки небольших размеров с образованием формы, напоминающей форму колеса без зубьев. Заготовки колес средних размеров представляют собой поковки со значительными припусками.

Заготовки зубчатых колес малых размеров отрезают от пруткового материала, диаметр которого больше наружного диаметра колеса на величину припуска для обработки.

Для увеличения производительности зубонарезания и увеличения прочности зубьев иногда на заготовках штампуются или накатываются зубья с припусками на последующую обработку при зубонарезании.

Базы деталей

При обработке деталей, закрепленных в определенном положении, вводится понятие базы.

Базами называются исходные поверхности, определяющие положение заготовки в процессе обработки ее на станке или готовой детали в собранном узле или машине.

Конструктивными базами называются поверхности, точки или линии, с помощью которых определяется положение детали относительно других деталей на сборочном чертеже.

Технологическими базами называются исходные поверхности деталей, определяющие положение ее при обработке на станке и при контроле. Технологические базы подразделяются на установочные и измерительные.

Установочными базами называются поверхности, используемые для установки детали на станке (в приспособлении) перед обработкой. Для зубчатых колес этими базами могут быть центральное отверстие, торцы ступицы или венца, шейки валов колес без отверстия, центровые отверстия. Установочные базы по возможности должны совпадать с конструктивными базами.

Измерительными базами называются поверхности, по которым определяется положение детали относительно контрольного приспособления или измерительного инструмента при измерении.

Заготовки зубчатых колес при механической обработке до зубонарезания должны устанавливаться по таким базам, которые необходимы при зубонарезании. Для установки заготовки при зубонарезании в большинстве случаев используются две базы: основная, центрирующая колесо, и опорная, поддерживающая и предохраняющая его от перекоса. На предыдущих операциях центрирующая и опорная базы должны обрабатываться или с одной установки, или одна база обрабатывается при установке на другую (например, обработка опорного торца производится при установке по центрирующему базовому отверстию).

Для восприятия больших усилий, возникающих при зубонарезании, за опорную технологическую базу принимается один из торцов зубчатого венца (но не торец ступицы), обработанный при установке на основные базовые поверхности (на отверстие колеса или на центр).

Основные и опорные базы для зубонарезания выбираются в зависимости от формы зубчатых колес. Колеса с шейками без отверстий (валы-шестерни) следует устанавливать в люнетах, базирующих деталь по посадочным шейкам с упором в торец вала или в торец одной из шеек. Колеса с небольшими модулями (до 6 *мм*) можно устанавливать по центровым отверстиям на торцах.

При нарезании зубчатых колес с цилиндрическими гладкими или шлицевыми отверстиями за технологическую основную базу принимается посадочное отверстие, а за опорную — торец венца. Для насадных венцов зубчатых колес основной базой служит также меньшее посадочное отверстие, а опорной — торец венца, обработанный при установке заготовки по этому отверстию.

Исходные данные для составления технологического процесса

Для разработки технологического процесса необходимо иметь следующие данные, определяющие характер операций и порядок их выполнения:

1. Рабочий чертеж детали. В технологическом процессе необходимо предусмотреть выполнение всех требований, содержащихся в рабочем чертеже.

2. Объем производственного задания по выпуску деталей, на которые разрабатывается технологический процесс.

3. Вид заготовок (литье, поковка, штамповка, прокат и т. п.) с указанием припусков на механическую обработку.

4. Сведения о типах, видах и размерах действующего на предприятии оборудования и об имеющихся приспособлениях и инструментах.

Технологическая документация

По данным, определяющим виды операций, составляют маршрутную карту — описание последовательного хода технологического процесса. После составления маршрута разрабатывают технологический процесс на каждую операцию и составляют технологическую документацию: операционные карты технологического процесса, карты наладки, инструкционные карты и т. п. В зависимости от вида производства разработку технологического процесса по операциям и составление технологической документации выполняют по-разному.

При единичном производстве указывают только виды обработки, назначают станки и инструмент без подробного описания порядка обработки.

При серийном производстве в карте технологического процесса дают эскиз обрабатываемой детали с обозначением базовых поверхностей и мест обработки. Если операция выполняется несколькими инструментами, то разрабатывают эскизные карты наладки с изображением применяющегося инструмента и последовательности работы ими. На операции, выполняемые на станках, для которых требуются расчеты сменных зубчатых колес и установка в определенное положение узлов (например, зубофрезерные и зубообрабатывающие станки), составляют карты наладки с указанием всех наладочных установок.

При массовом производстве пооперационный процесс разрабатывают еще подробнее: дают эскизы детали на каждый переход со схематическим указанием способа крепления детали на станке и установки приспособления и инструмента.

При серийном и массовом производстве в технологической документации, независимо от ее формы, должны быть указаны следующие данные:

1. Название операции и ее порядковый номер.

2. Эскиз детали с указанием базовых поверхностей и поверхностей, обрабатываемых при каждом переходе, или же эскизы для каждого

перехода. Переходы обозначают цифрами, а обрабатываемые поверхности — жирными линиями. На эскизах указывают размеры с допусками, которые должны получиться после данной обработки, и заданная чистота поверхности.

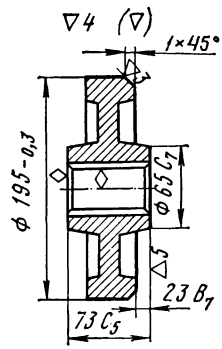


Рис. 150. Эскиз заготовки зубчатого колеса

3. Станок, на котором должна выполняться операция, его модель и инвентарный номер завода.

4. Приспособления для установки и крепления детали, а также для контроля детали, если в них имеется необходимость, с указанием их индексов.

5. Содержание работ для каждого перехода операции.

6. Режущий инструмент для каждого перехода с обозначением номинальных размеров и индексов завода.

7. Измерительный инструмент для проверки обрабатываемых поверхностей с указанием номинальных размеров и индексов.

8. Данные о режимах резания: скорость, число оборотов детали или инструмента, глубина резания, величина подачи, число проходов, время обработки на данной операции.

На рис. 150 показан эскиз заготовки зубчатого колеса, предназначенного для токарной обработки, на котором цифрами обозначены обрабатываемые поверхности и условными знаками на поверхности отверстия установочная база, а на торце опорная поверхность для крепления детали.

Паспорт станка, его назначение и содержание

Для разработки технологического процесса необходимо иметь все сведения о станке, на котором будут выполнять операции. Эти сведения приведены в паспорте станка. Данными паспорта пользуются также при проектировании приспособления и инструмента, наладке станка и его ремонте и т. д.

В паспорте дается полная характеристика станка (завод-изготовитель, модель, год выпуска, назначение, основные размеры и вес, наибольшие размеры обрабатываемых деталей), перечисляются принадлежности, приданные станку, и сменные части, необходимые при наладке (комплекты сменных колес с указанием числа зубьев, комплекты кулачков с их характеристикой, приборы, применяемые при проверке и наладке). В паспорте приводятся все данные об электродвигателях и ременных передачах, указываются числа оборотов или двойных ходов рабочих органов главного движения и величины подач, даются размеры установки приспособления и инструмента.

ГЛАВА XI

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ И РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

§ 54. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ЧЕРВЯКОВ

Этапы обработки зубчатых колес

Зубчатые колеса всех видов: цилиндрические, червячные, конические, независимо от их конструктивных особенностей и размеров, имеют общий принцип механической обработки.

Первый этап обработки зубчатых колес включает операции по изготовлению заготовок до их зубонарезания. К этим операциям относятся черновая (предварительная) токарная обработка, обработка отверстия, токарная чистовая обработка.

Второй этап обработки состоит из операций нарезания зубьев и обработки колес после нарезания — шлифования отверстия (если колесо после зубонарезания подвергалось термообработке) и отделки зубьев.

Нарезание и отделка зубьев цилиндрических зубчатых колес

В зависимости от заданной степени точности колес, величины модуля и вида производства нарезание зубьев выполняют разными методами и на разных станках.

Колеса с большими модулями (больше 5—8) иногда предварительно нарезают дисковыми фрезами методом единичного деления на универсальных фрезерных станках или же на зуборезных с переключением механизма на нарезание зубьев без обкатки с единичным делением. При массовом производстве применяют специальные станки. Дисковые фрезы имеют фасонный профиль зубьев по эвольвенте (см. рис. 29, *а*), а при большом количестве зубьев колеса предварительную нарезку можно выполнять дисковыми фрезами с профилем зубьев в виде трапеции.

В единичном производстве при отсутствии зуборезного станка и невысоких требованиях к точности нарезаемых зубьев можно пользоваться дисковыми модульными фрезами и при окончательном нарезании зубьев.

Черновое и чистовое нарезание зубьев в основном производится червячными модульными фрезами на зубофрезерных станках. Это наиболее распространенный способ зубонарезания и более производительный, так как процесс резания червячной фрезой происходит непрерывно. Для чернового нарезания применяют многозаходные фрезы, которые уменьшают машинное время зубонарезания пропорциональ-

но числу заходов. Однако точность нарезания при этом ниже, чем при нарезании однозаходными фрезами и технология изготовления многозаходных фрез сложна, поэтому целесообразно применять фрезы с числом заходов не более двух.

Часто требуется более точная и чистая поверхность профилей зубьев, чем получающаяся при фрезеровании червячной фрезой. Поэтому после фрезерования зубья подвергают дальнейшей обработке: незакаленные шевингуют, закаленные шлифуют.

Зубья, обработанные на зубодолбежном станке долбяком, имеют более правильный и чистый профиль, чем фрезерованные, но процесс долбления менее производителен. Поэтому долбление применяется в основном тогда, когда нельзя производить фрезерование зубьев фрезой. Нарезание внутренних зубьев и наружных, у которых бурт выше впадины или, если колесо состоит из нескольких венцов, расположенных близко один к другому, можно производить только на зубодолбежных станках.

Окончательная обработка зубьев во многих случаях производится шевингованием. Кроме шевингования, окончательная отделка профилей зубьев может выполняться притиркой или обкаткой.

У зубчатых колес, подвергшихся термообработке после нарезания зубьев, перед окончательной их обработкой шлифуют центральное посадочное отверстие на шлифовальном станке, после чего окончательно обрабатывают зубья, главным образом, на шлифовальном станке или другим каким-либо методом (хонингованием, притиркой).

Шлифование зубьев колес — наиболее надежный способ отделки профильных поверхностей их, устраняющий погрешности, образующиеся в процессе термической обработки, и обеспечивающий получение профиля зубьев с наибольшим приближением к теоретическому.

Шлифование зубьев можно выполнять методом копирования или методом обкатки.

Метод копирования. Шлифование производится при помощи шлифовального круга, заправленного точно по профилю выемки между соседними зубьями обрабатываемого колеса. При этом все погрешности заправки профиля круга и погрешности, вызванные его неравномерным износом, будут копироваться на профиле зуба. Этот метод наиболее производительный, но менее точный, поэтому он находит применение в крупносерийном производстве при невысоких требованиях к точности зацепления.

Метод обкатки. Зубья шлифуют методом обкатки двумя способами:

одним кругом, заправленным так, что в сечении его образуется форма зуба рейки по толщине меньше ширины впадины зубьев колеса. Кругу сообщают быстрое вращение и возвратно-поступательное движение вдоль длины зубьев. Шлифуется каждая сторона впадины отдельно, при этом колесо качается в одну и другую сторону по воображаемой рейке;

двумя тарельчатыми быстро вращающимися кругами, шлифующими одновременно обе стороны впадины. Обрабатываемое колесо качается вокруг своей оси и медленно перемещается вдоль ее.

Зубья мелкомодульных зубчатых колес шлифуют абразивным червяком также методом обкатки.

Зубохонингование. Наряду с зубошлифованием получило распространение зубохонингование шевингованных закаленных зубьев колес.

Зубохонингование производится на шевинговальных станках при скрещивающихся осях хона и зубчатого колеса.

Хон представляет собой зубчатое колесо, подобное шеверу (но без канавок по профилю зубьев), изготовляемое из пластмассы с абразивной смесью путем прессования в прессформе.

Процесс хонингования происходит аналогично шевингованию с продольным перемещением хона вдоль оси обрабатываемого колеса при плотном зацеплении зубьев без радиальной подачи; применяется обильное охлаждение. Припуск под хонингование не должен превосходить 0,02 *мм* на толщину зуба.

При хонинговании устраняют небольшие дефекты закаленных зубьев, удаляют окалину, снимают забоины и заусеницы, повышают чистоту профильной поверхности зубьев.

Нарезание зубьев червячных колес

Червячные колеса нарезают двумя способами: при радиальной подаче и при осевой (тангенциальной).

Нарезание с радиальной подачей производительнее, наладка станка проста и не требуется специального суппорта. Поэтому в большинстве случаев червячные колеса нарезают этим способом. Но при этом необходимо, чтобы в процессе окончательной обработки зубьев колеса ось фрезы находилась от оси колеса на расстоянии, равном межосевому расстоянию червячной пары, т. е. расстоянию от оси колеса до оси сопрягаемого с ним червяка, и толщина зубьев фрезы на начальной прямой была равна ширине впадины колеса на делительной окружности его.

Если колесо работает в сопряжении с червяком, имеющим два или более заходов, то и фреза должна иметь такое же число заходов. При нарезании колеса такой фрезой с радиальной подачей происходит срезание кромок вершин зубьев, причем срезание увеличивается с увеличением числа заходов фрезы. Поэтому многозаходными фрезами червячные колеса нарезаются с осевой подачей, при которой вершины зубьев не срезаются.

Окончательная обработка зубьев червячных колес чаще всего заканчивается чистовым фрезерованием. Иногда профили зубьев шевингуются специальными червячными шеверами или притираются в зацеплении с червячными притирами.

Нарезание зубьев конических прямозубых колес

Черновое нарезание зубьев конических прямозубых колес выполняется разными способами. Чаще всего применяется предварительная нарезка дисковыми фрезами. При небольшом количестве деталей черновое

нарезание выполняется резцами на тех же зубострогальных станках, на которых производится и чистовое нарезание.

Чистовое нарезание осуществляется на зубострогальных станках за один или два прохода при одном качании люльки в зависимости от конструкции станка. При небольшой величине модуля окончательно зубья нарезают за один оборот колеса, без чернового нарезания. Если же величина модуля значительная (более 3 *мм*), то чистовое нарезание производится после чернового. Иногда колеса после нарезания попарно прикатывают.

Нарезание конических колес с круговыми зубьями

Круговые зубья конических колес нарезают на специальных станках. Три основные метода нарезания таких зубьев подробно рассмотрены при изучении работы на станках, а поэтому здесь приведены только общие замечания.

Окончательная обработка колес как сырых, так и подлежащих термообработке после зубонарезания, большею частью заканчивается чистовым нарезанием. После закалки колеса попарно подбирают по наилучшему расположению пятна контакта и клеймят. Их так и устанавливают при сборке. Подобранные пары иногда обкатывают с мелким порошком абразива и с маслом для лучшего прилегания профилей.

Если профили зубьев колес должны иметь высокую чистоту, их после термообработки шлифуют на специальных станках абразивным кругом методом обкатки, как на зуборезных станках при нарезании круговых зубьев.

Фрезерование резьбы и червяков

Резьбы фрезеруют двумя методами: короткие — групповыми фрезами, длинные резьбы и червяки — дисковыми. Каждый из этих методов имеет свою область применения и свои особенности, которые рассматривались раньше.

При обработке деталей, у которых нужно фрезеровать резьбу или витки червяка, вначале выполняют токарные операции, а затем резьбофрезерование. При выполнении токарных операций необходимо подготовить базу для установки детали на резьбофрезерный станок, сцентрированную с цилиндрической поверхностью, на которой будет нарезаться резьба. Для этого цилиндрическую поверхность, предназначенную под нарезание резьбы, и поверхность цилиндра, по которой будет устанавливаться деталь в шпиндель станка, необходимо обработать с одной установки.

В процессе фрезерования резьбы или червяка дисковой фрезой происходит подрезание профилей витка. Величина подрезания возрастает с увеличением угла подъема витков и с уменьшением угла их профиля.

Поэтому резьбы и витки червяков с прямоугольным профилем, имеющим угол, равный нулю, нельзя нарезать фрезерованием.

Изделия после нарезания резьбы иногда подвергают термообработке, червяки, в основном, закалке. Закаленные червяки шлифуют на резьбошлифовальных станках, а иногда притирают притирами.

Технологическая дисциплина

Качество продукции в большой степени зависит от соблюдения технологической дисциплины при выполнении всех операций технологического процесса. Утвержденный технологический процесс является законом, который должен соблюдаться при изготовлении деталей, и какое-либо отступление от него без соответствующего разрешения недопустимо.

Наряду с соблюдением установленного технологического процесса следует изыскивать возможности улучшения его. Необходимо стремиться к увеличению количества одновременно обрабатываемых деталей на станке, находить пути повышения режимов резания за счет усовершенствования режущего инструмента, применять приспособления, сокращающие вспомогательное время на установку и проверку деталей, использовать пневматику для зажатия заготовки и автоматические зажимы.

Все предложения по усовершенствованию технологических процессов утверждаются технологическим отделом и заносятся в карту технологического процесса, и только после этого внедряются в производство.

§ 55. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ РАБОТ НА ЗУБОРЕЗНЫХ СТАНКАХ

Под *технической нормой* понимается время, необходимое на выполнение данной работы (операции) при определенных организационно-технических условиях с наиболее эффективным использованием всех средств производства (станков, приспособлений, инструмента).

Техническая норма времени состоит из нормы подготовительно-заключительного времени и нормы штучного времени.

Подготовительно-заключительным называется время $T_п$, затрачиваемое рабочим на подготовку к обработке заданной партии деталей перед началом выполнения операции и после окончания ее. Сюда входит время на ознакомление с технологическим процессом и картой наладки, на подготовку рабочего места, на наладку станка, инструмента и приспособления, а также на снятие инструмента и приспособления после выполнения операции.

Штучное время $T_ш$ состоит из следующих элементов:

а) основного (технологического) времени $T_о$;

б) вспомогательного времени $T_в$;

в) времени обслуживания рабочего места $T_{об}$;

г) времени перерывов на отдых и естественные надобности $T_{от}$.

Основным (*технологическим*) называется время, в течение которого происходит изменение формы обрабатываемых деталей. При зубонаре-

зании это время, затрачиваемое на процесс зубонарезания режущим инструментом.

Вспомогательное время — это время, затрачиваемое на различные приемы, обеспечивающие выполнение основной работы: установку и снятие детали, закрепление детали, управление станком перед началом обработки.

Сумма основного и вспомогательного времени называется *оперативным временем*, которое затрачивается на осуществление работы по выполнению заданной операции.

Время обслуживания рабочего места $T_{об}$ затрачивается рабочим на уход за своим рабочим местом и поддержание его в рабочем состоянии (смена затупившегося инструмента, регулировка инструмента и подналадка оборудования в процессе работы, время на удаление стружки со станка, уборка станка).

Норма штучного времени выражается суммой составляющих:

$$T_{ш} = T_{о} + T_{в} + T_{об} + T_{от}.$$

Время на обработку партии одинаковых деталей:

$$T_{пар} = T_{ш} \cdot K + T_{п},$$

где K — число штук в партии.

Нормы времени подготовительно-заключительного и вспомогательного принимают по таблицам нормативов в зависимости от вида зубонарезания, типа станка и способа установки заготовки на станок.

Нормы времени на обслуживание рабочего места, на перерывы и естественные надобности установлены в размере 6,3% от времени оперативной работы для всех зуборезных станков.

Основное (технологическое) время рассчитывают по нижеприведенным формулам:

1. Нарезание зубьев на зубофрезерном станке:

а) цилиндрических колес

$$T_{о} = \frac{(l + l')z}{ns_{о}K} \text{ мин};$$

б) червячных колес

$$T_{о} = \frac{(l + l')z}{ns_{р}K} \text{ мин}.$$

2. Нарезание зубьев цилиндрических колес на зубодолбежных станках за i проходов:

$$T_{о} = \frac{\pi mz}{ns_{t}} i + \frac{h}{ns_{р}} \text{ мин}.$$

3. Шевингование зубьев:

$$T_{о} = \frac{ltzq}{ns_{о}s_{р}z_{и}} \text{ мин}.$$

4. Нарезание зубьев конических колес:

$$T_0 = \frac{T_к z}{60} \text{ мин}.$$

Условные обозначения в формулах: n — число оборотов (или двойных ходов) инструмента в минуту; s_t — круговая подача за один двойной ход, *мм*; $s_р$— радиальная подача за один оборот заготовки, *мм*; s_0— подача за один оборот заготовки; t — припуск на обработку, *мм*; K — число заходов фрезы; l — длина нарезаемого зуба, *мм*; l'— величина врезания и перебега инструмента, *мм*; z — число зубьев нарезаемого колеса; $z_и$— число зубьев режущего инструмента; m — модуль; q — коэффициент, учитывающий дополнительные калибрующие проходы; h — высота зуба, *мм*; $T_к$— время на нарезание одного зуба конического зубчатого колеса, *сек*.

Для расчета основного времени необходимо по таблицам нормативов определить режим резания — глубину резания, подачу и скорость резания, которые выбирают в такой последовательности: назначают глубину резания, выбирают подачу и определяют скорость резания. Нормативы по режимам резания приведены в специальной литературе по нормированию.

Глубина резания назначается в зависимости от размера нарезаемых зубьев и характера обработки с учетом мощности и жесткости станка.

Величину технологически допустимой подачи выбирают с учетом следующих условий: а) заданной чистоты поверхности зубьев и требуемой точности колес, б) мощности и жесткости станка и прочности его механизмов, в) установленной глубины резания.

Скорость резания для разных видов зуборезного инструмента определяют в соответствии с назначенными глубиной резания и подачей с учетом условий зубонарезания: допустимой величины износа режущих поверхностей инструмента, средней стойкости и материала обрабатываемой заготовки.

При изменении условий зубонарезания, для которых составлены нормативные таблицы, следует пользоваться поправочными коэффициентами.

После определения скорости резания рассчитывают число оборотов (или двойных ходов) инструмента в минуту:

для фрезы

$$n = \frac{v}{\pi d_ф};$$

для долбяка

$$n = \frac{500v}{l + l'};$$

для шевера

$$n = \frac{v}{\pi d_ш}.$$

По рассчитанному числу n принимается ближайшее его значение по таблицам станка.

По выбранным и рассчитанным величинам определяют основное время T_0, как изложено выше.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

ГЛАВА XII

ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

§ 56. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЗУБОФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Разнообразие конструктивных форм и размеров зубчатых колес, а также требований, предъявляемых к ним, привели к созданию разнотипных зубофрезерных станков, отличающихся расположением основных узлов и механизмов передачи движения.

Зубофрезерные станки отличаются установкой нарезаемых колес. Чаще всего применяются станки, на которых устанавливаются колеса с вертикальным расположением оси — вертикальные зубофрезерные станки. На некоторых станках устанавливаются зубчатые колеса с горизонтальным расположением оси — горизонтальные зубофрезерные станки.

В зависимости от способа сближения заготовки и фрезы при фрезеровании вертикальные зубофрезерные станки изготовляются двух типов: с подвижной кареткой стола и неподвижной суппортной стойкой, несущей фрезерный суппорт, и с перемещающейся суппортной стойкой и неподвижным основанием стола.

Ниже приводятся краткие характеристики некоторых вертикальных зубофрезерных станков. Принципы работы и наладки этих станков аналогичны принципам работы и наладки описанного ранее станка 5Д32. Поэтому здесь указываются некоторые особенности этих станков и приводятся формулы их наладки.

Расчет сменных зубчатых колес для различных случаев зубофрезерования можно сделать на основе приведенных схем и, пользуясь

Таблица 7

Формулы расчета сменных зубчатых колес гитар зубофрезерных станков

Показатели		Обозначения показателей	Модели станков			
			5К324	5Д32	5Е32	5327
Вертикальная подача суппорта		$x_п$	$0{,}5047\, s_в$	$\frac{3}{10}\, s_в$	$\frac{3}{10}\, s_в$	$\frac{5}{16}\, s_н$
Радиальная подача		$x_п$	$1{,}285\, s_р$	$\frac{5}{4}\, s_р$	$\frac{25}{32}\, s_р$	$s_р$
Осевая подача фрезы		$x_п$	$1{,}514\, s_a$	s_a	$0{,}8\, s_a$	$\frac{3}{4}\, s_a$
Деление прямозубых колес	$\frac{e}{f}=\frac{1}{1}$	$x_л$	$\frac{24\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$
	$\frac{e}{f}=\frac{1}{2}$	$x_л$	$\frac{8\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$
Деление косозубых колес	$\frac{e}{f}=\frac{1}{1}$	$x_л$	$\frac{48\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$	$\frac{24\,К}{z}$
	$\frac{e}{f}=\frac{1}{2}$	$x_л$	$\frac{96\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$	$\frac{48\,К}{z}$
Дифференциал гитары: Нарезание косозубых колес		$x_г$	$\frac{7{,}95775 \sin\beta}{m_n\,К}$	$\frac{7{,}95775 \sin\beta}{m_n\,К}$	$\frac{7{,}95775 \sin\beta}{m_n\,К}$	$\frac{9{,}81456 \sin\beta}{m_n\,К}$
Осевая подача фрезы		$x_г$	$\frac{2{,}65258}{m_ч\,К}$	$\frac{2{,}38733}{m_ч\,К}$	$\frac{3}{m_ч\,К}$	$\frac{4{,}0894}{m_ч\,К}$
Нарезание колес с простым числом зубьев		$x_г$	$\frac{25\,a}{s_в\,К}$	$\frac{25\,a}{s_в\,К}$	$\frac{25\,a}{s_в\,К}$	$\frac{185\,a}{6\,s_в\,К}$

выводами, приведенными для станка 5Д32. Формулы в окончательном виде даются в табл. 7.

Зубофрезерный станок 5Е32

Станок 5Е32 (рис. 151) является усовершенствованной моделью станка 5Д32. У станка 5Е32 иначе устроено автоматическое выключение радиальной подачи стойки. Кроме того, механизм станка быстро подводит фрезу к обрабатываемой заготовке, переключается на рабочий ход, а после нарезания зубьев отводит суппорт в исходное положение. Фреза на глубину врезания подается, как на станке 5Д32, перемещением суппортной стойки.

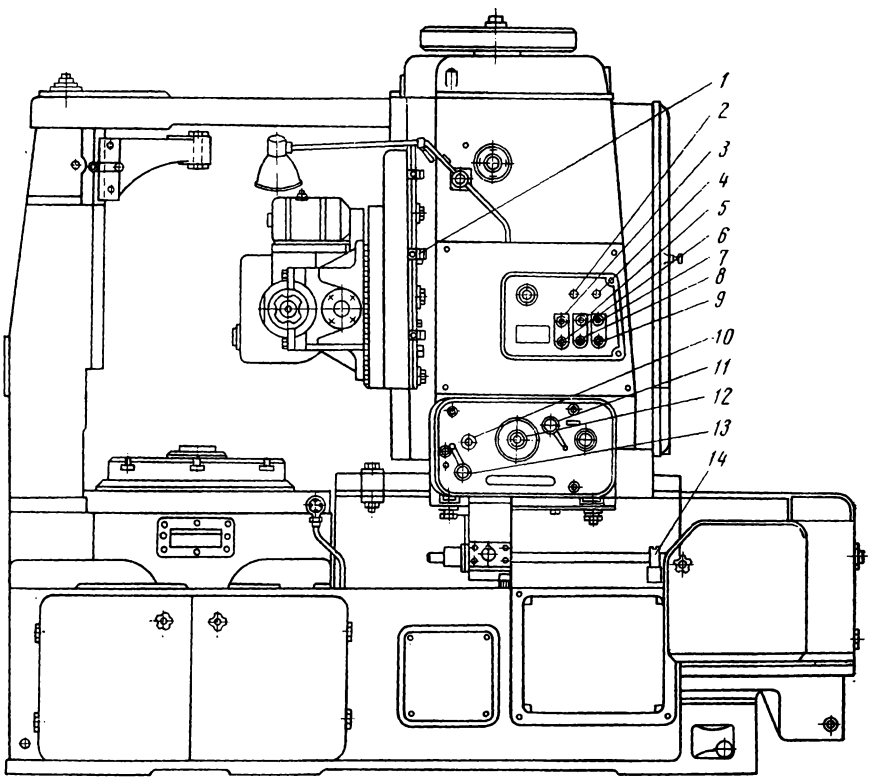


Рис. 151. Общий вид зубофрезерного станка 5Е32:

1 — упор автоматического выключения подачи суппорта, *2* — сигнальная лампа автоматического цикла, *3* — кнопка включения главного электродвигателя, *4* — переключатель наладки автоматического цикла, *5* — кнопка включения осевого перемещения фрезы, *6* — кнопка, при помощи которой останавливается главный электродвигатель, *7* — кнопка включения быстрого хода суппорта вверх, *8* — кнопка переключения осевого перемещения фрезы, *9* — кнопка выключения быстрого хода суппорта вниз, *10* — квадрат для ручного перемещения салазок суппорта, *11* — рукоятка включения механизма радиальной подачи, *12* — квадрат для ручного перемещения суппортной стойки, *13* — рукоятка включения вертикальной подачи суппорта, *14* — рычаг включения и выключения рабочей подачи

Для равномерного износа зубьев фрезы по всей длине она имеет осевое перемещение. Перемещение выполняется нажатием кнопки *8*; при освобождении кнопки перемещение фрезы прекращается.

Зубофрезерный станок 5К324

Станок 5К324 предназначен для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колес, а также червячных колес методом радиальной осевой подачи.

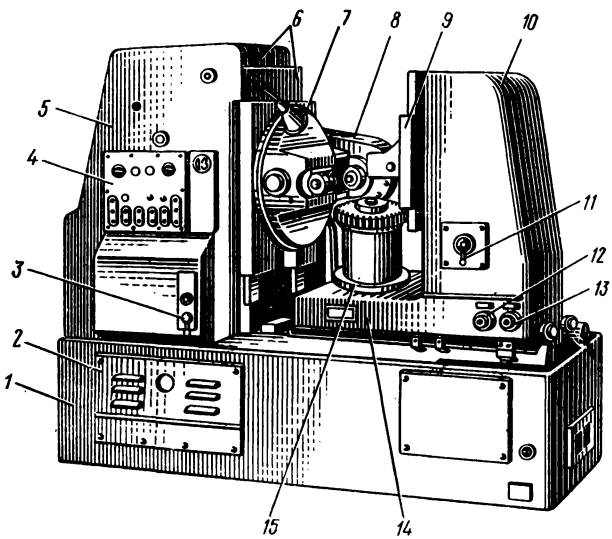


Рис. 152. Общий вид зубофрезерного станка 5К324

На общем виде станка (рис. 152) приведены основные узлы и органы управления. На горизонтальных направляющих станины *1* установлена каретка *14* и на ней стол *15*. По этим направляющим каретка со столом может перемещаться к фрезе при установке оси колеса на необходимое расстояние от оси фрезы и при радиальной подаче во время нарезания червячных колес; упор, ограничивающий перемещение, устанавливается вращением рукоятки *13*, вручную каретка перемещается рукояткой *12*. На станке, в левой части, закреплена передняя стойка *5* с вертикальными направляющими *6*, по которым перемещается вверх и вниз суппорт *7* с фрезерной головкой *8*, включаемой рукояткой *3*. Фрезерная головка может поворачиваться для установки шпинделя на угол, соответствующий подъему витков фрезы и наклону зубьев колеса.

В правой части на каретке закреплена задняя стойка *10*; на ее вертикальных направляющих установлен кронштейн *9*, поддерживающий

верхний конец оправки, который перемещается гидравлически с помощью рукоятки *11*; по манометру *2* регулируют давление масла. На пульте управления *4* расположены кнопки пуска и остановки главного электродвигателя, включение и выключение электронасоса, подвод и отвод каретки и т. д., а также переключение встречного и попутного фрезерования.

В конструкции станка предусмотрены механизмы прогрессивного зубофрезерования: диагональная подача фрезы, встречное и попутное зубофрезерование, автоматический подвод инструмента в рабочее положение и отвод назад, автоматическая остановка станка после нарезания колеса. Переключение коробок скоростей и подач позволяет устанавливать девять разных чисел оборотов и девять радиальных и осевых подач без установки сменных зубчатых колес.

Диагональное зубофрезерование. При зубофрезеровании без перемещения фрезы вдоль ее оси работа происходит на небольшом участке фрезы и после затупления зубьев этого участка фрезу перешлифовывают по всей длине, стачивая и незатупившиеся зубья. Для более равномерного износа фрезы ее перемещают вдоль оси, или периодически, как на станке 5Е32, или беспрерывно.

На станке 5К324 фреза в процессе работы все время непрерывно перемещается вдоль своей оси и одновременно вдоль оси колеса (вертикально). В результате вертикального и осевого перемещения фрезы она движется по диагонали относительно нарезаемых зубьев. Такое зубофрезерование называется диагональным. При равномерном перемещении фрезы по оси износ ее происходит равномерно по всей длине и стойкость повышается, а при одинаковой стойкости можно увеличить режим резания.

Кроме повышения стойкости при одинаковом режиме резания повышается чистота обработки профиля зубьев, так как зубья фрезы движутся по профилям нарезаемых зубьев не перпендикулярно их высоте, а под углом (вследствие диагонального перемещения зубьев фрезы), и следы на профилях зубьев располагаются наискось, что улучшает чистоту их обработки.

Вертикальное и осевое перемещение фрезы должны быть согласованы между собой: при вертикальном перемещении на величину ширины венца B (или ширины пакета венцов) осевое перемещение должно быть равно рабочей длине l фрезы. Рабочая длина фрезы $l=L-6{,}6\ m$, *мм*, где L — полная длина фрезы, m — модуль.

Если вертикальная подача $s_в$, а осевая s_a, то число оборотов фрезы при вертикальной подаче равно $\frac{B}{s_в}$, и это же число оборотов ее при осевой подаче $\frac{l}{s_a}$. Сравнивая эти величины, получим

$$\frac{B}{s_в}=\frac{l}{s_a};\quad \text{откуда}\quad \frac{s_a}{s_в}=\frac{l}{B}\quad \text{и}\quad s_a=s_в\cdot\frac{l}{B}.$$

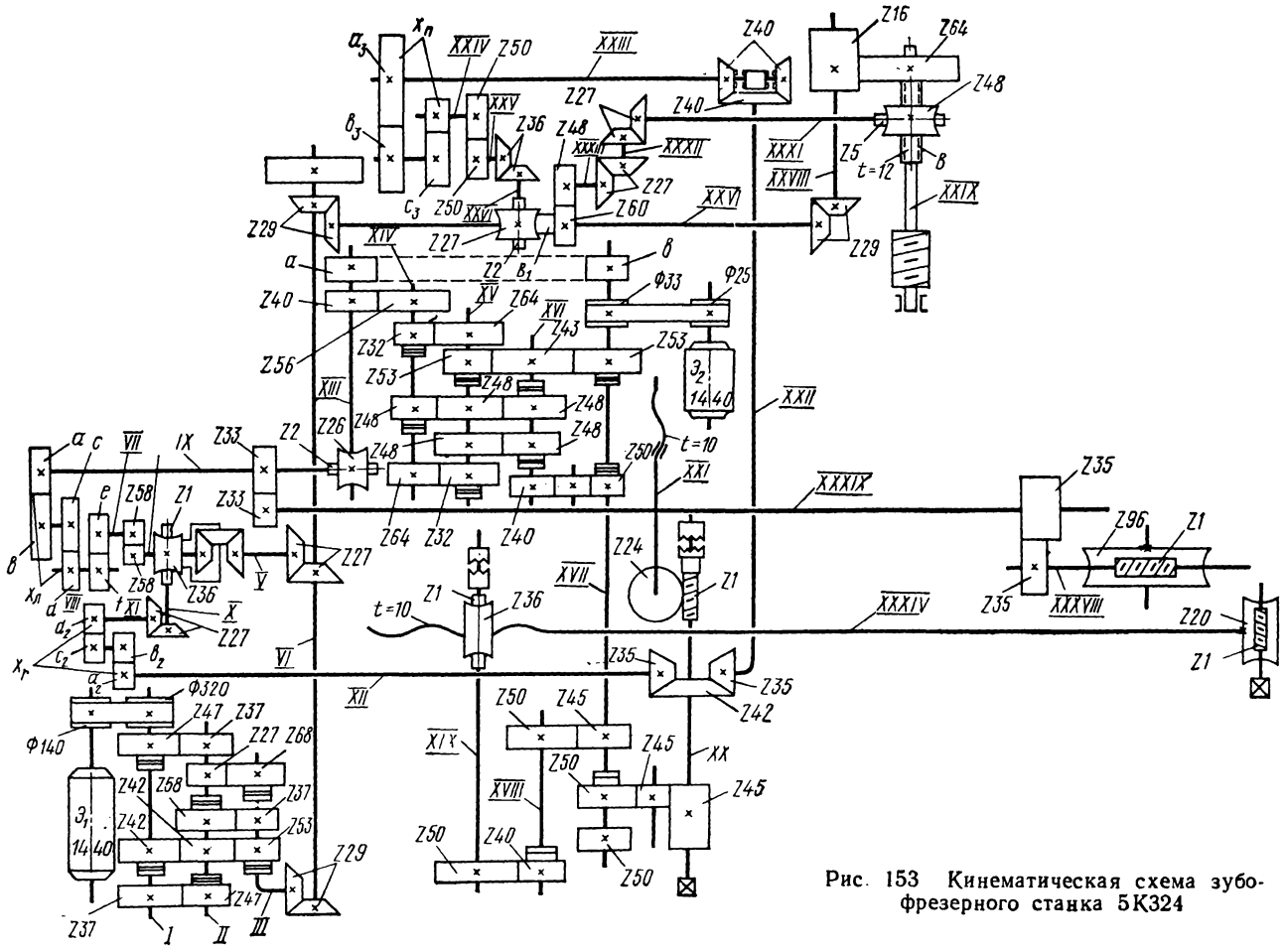


Рис. 153 Кинематическая схема зубофрезерного станка 5К324

Выбрав по нормативам величину вертикальной подачи $s_в$, находят величину осевой подачи при данных длине и ширине. При этом фреза переместится вдоль оси на длину l и одновременно на ширину B.

Чтобы осуществить требуемую величину подачи s_a, рассчитывают сменные зубчатые колеса гитары диагональной подачи.

На рис. 153 и 154 приведены кинематическая и структурная схемы станка. Ниже рассмотрены передачи движения по кинематическим цепям в соответствии с этими схемами и приведены выводы формул передаточных отношений сменных колес.

Передача движения фрезе: электродвигатель — фреза.

$$\frac{n_ф}{n_э} = \frac{140}{320} \cdot i_с \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64}; \quad \text{при } n_э = 1440; \; n_ф = \frac{z \cdot 45}{2} \cdot i_с.$$

Учитывая коэффициент скольжения ременной передачи, получим $i_с = 0{,}0064 \; n_ф$.

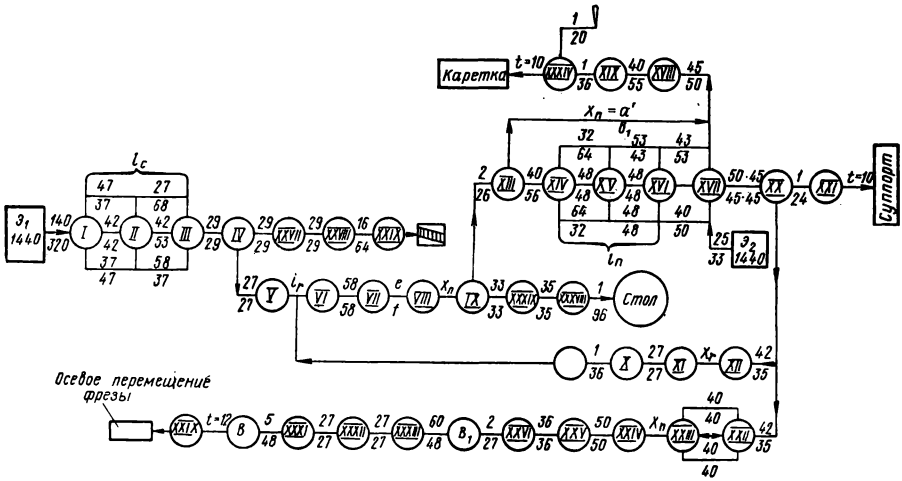


Рис. 154. Структурная схема зубофрезерного станка 5К324

Передаточное отношение $i_с$ коробки скоростей рассчитывают в зависимости от числа оборотов фрезы $n_ф$ и принимают ближайшее из получающихся в коробке.

Вертикальная подача суппорта. Отношение числа оборотов по цепи: стол — винт *XXI* суппорта:

$$\frac{n_в}{n_с} = \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{пв} \; \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{1}{24} = \frac{43 \cdot 200}{91 \cdot 9 \cdot 53} \, i_{пв}.$$

За один оборот стола $n_{в_1} = \frac{43 \cdot 2000}{91 \cdot 9 \cdot 53} \, i_{пв}$. Это же число оборотов в

зависимости от вертикальной подачи $s_в$ и шага винта *XXI* будет $n_{в_1} = \frac{s_в}{10}$. Сравнивая значения $n_{в_1}$ и решая относительно передаточного отношения коробки подач, получим $i_{n_в} = \frac{91 \cdot 9 \cdot 53}{2000 \cdot 43} s_в$; $i_{n_в} = 0{,}5047 s_в$;

передаточное отношение рассчитывают в зависимости от величины подачи $s_в$.

При нарезании колес с нечетным числом зубьев больше 100 или при бездифференциальном нарезании косозубых колес вертикальная подача должна осуществляться сменными колесами с передаточным отношением $x_п = \frac{a_1}{b_1}$, чтобы устанавливаемая величина подачи не колебалась, как это может происходить в коробке подач с электромагнитным включением ее колес. Передача движения в этом случае происходит по той же цепи, но минуя коробку подач,

$$\frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot x_п \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = s_в; \quad x_п = \frac{13 \cdot 9}{400} \cdot s_в.$$

Радиальная подача перемещением каретки. Отношение чисел оборотов по цепи: стол — вал *XXXIV* каретки за один оборот стола:

$$\frac{n_в}{1} = \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{пр} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{40}{55} \cdot \frac{1}{36};$$

$$n_{в_1} = \frac{96 \cdot 43}{91 \cdot 53 \cdot 11} i_{пр}.$$

В зависимости от шага винта $n_{в_1} = \frac{s_р}{10}$; сравнивая, получим

$$i_{пр} = \frac{91 \cdot 53 \cdot 11}{96 \cdot 430} s_р; \text{ или } i_{пр} = 1{,}285 s_р.$$

Осевая подача фрезы продольным перемещением шпинделя при нарезании червячных колес. Отношение чисел оборотов по цепи стол — втулка *B*:

$$\frac{n_в}{1} = \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{n_a} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{40}{40} \cdot x_н \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{36} \times$$

$$\times \frac{2}{27} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{5}{48} = \frac{43 \cdot 500}{91 \cdot 53 \cdot 27 \cdot 3} i_{n_a}.$$

(В этом случае диагональное фрезерование отсутствует и $x_н = 1$). В зависимости от шага втулки $n_{в_1} = \frac{s_a}{12}$. Сравнивая значения $n_в$, получим $i_{n_a} = \frac{91 \cdot 53 \cdot 27}{2000 \cdot 43} s_a$ или $i_{n_a} = 1{,}514 \cdot s_a$.

Передаточное отношение сменных колес гитары деления. По кинематической цепи фреза — стол передаточное отношение будет:

$$\frac{n_c}{n_ф} = \frac{64}{16} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_r \frac{58}{58} \frac{l}{f} \cdot x_л \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{1}{24} \cdot \frac{l}{f} x_л;$$

$$(i_r = 1),$$

но $\frac{n_c}{n_ф} = \frac{K}{z}$. Из сравнения отношений находим $x_л = \frac{24K}{z} \cdot \frac{f}{l}$. При $\frac{l}{f} = 1$ $x_л = \frac{a \cdot b}{b \cdot d} = \frac{24 \cdot K}{z}$, при $\frac{l}{f} = \frac{1}{2}$ $x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{48K}{z}$

При бездифференциальной наладке отношение вычисляется по формуле

$$x_л = \frac{24K}{z} \left(\frac{T}{T - s_в} \right).$$

Передаточное отношение сменных колес гитары дифференциала при нарезании косозубых колес. Отношение дополнительного и основного чисел оборотов вала VI $\frac{\Delta n}{n_в} = \frac{s_в \cdot \operatorname{tg} \beta}{\pi d}$ (рис. 51), а по кинематической цепи дифференциала это же отношение

$$\frac{\Delta n}{n_в} = \frac{58}{58} \cdot \frac{\ }{f} \cdot x_л \cdot \frac{2}{26} \frac{40}{56} i_{n_в} \frac{43}{53} \frac{50}{45} \cdot \frac{42}{35} x_r \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{36} \cdot i_r.$$

Подставляя значения $\frac{l}{f} = 1$; $x_л = \frac{24K}{z}$; $i_{n_в} = \frac{91 \cdot 9 \cdot 53}{2000 \cdot 43} s_в$; $i_r = 2$,

получим $\frac{\Delta n}{n_в} = \frac{K x_r s_в}{25 \cdot z}$. Сравнивая отношение чисел оборотов и сокращая $s_в$, находим $x_r = \frac{25z \operatorname{tg} \beta}{\pi d K}$ или $x_r = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{7{,}95775 \cdot \sin \beta}{m_n K}$.

Передаточное отношение сменных колес гитары дифференциала при нарезании червячных колес с осевой подачей фрезы. Отношение дополнительного числа оборотов фрезы, совершаемых во время осевого перемещения фрезы, к числу оборотов стола по кинематической цепи стол — фреза через цепь дифференциала будет:

$$\frac{\Delta n_ф}{n_c} = \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{n_a} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{42}{35} \cdot x_r \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{36} \cdot i_r \times$$

$$\times \frac{27}{27} \cdot \frac{29}{29} \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64}$$

При $i_{n_a} = \frac{91 \cdot 53 \cdot 27}{2000 \cdot 43} s_a$ и $i_r = 2$ будет: $\frac{\Delta n_ф}{n_c} = \frac{3}{25} \cdot s_a x_r$.

Отношение этих же чисел оборотов в зависимости от величины осевой

подачи s_a и осевого хода фрезы K_{t_a} составит $\frac{\Delta n_ф}{n_с} = \frac{s_a}{K_{t_a}} = \frac{s_a}{K_{t_s}}$

Сравнивая эти отношения $\frac{3}{25} s_a x_r = \frac{s_a}{K_{t_s}}$, найдем $x_r = \frac{25}{3K_{t_s}} = \frac{25}{3\pi m_s K}$

или $x_r = \frac{2,65258}{m_s K}$.

За счет косозубых колес пары *16 : 64*, передающих вращение фрезе, она при осевом перемещении получает дополнительное вращение и к передаточному отношению добавляется величина ±0,0036. Полное передаточное отношение

$x_r = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d} = \frac{2,65258}{m_s K} \pm 0,0036$ (+ для правозаходных фрез, — для левозаходных).

Передаточное отношение $x_н$ сменных колес диагонального фрезерования при осевой подаче фрезы. По кинематической цепи от суппорта к осевому перемещению фрезы (вал *XXI* — вал *XXIX*) отношение чисел оборотов n_a вала *XXIX* при осевом перемещении и числа оборотов $n_в$ вала *XXI* при вертикальном перемещении будет:

$$\frac{n_a}{n_в} = \frac{24}{1} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{40}{40} \cdot x_н \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{2}{27} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{5}{48} = \frac{5}{2 \cdot 9} x_н;$$

но $n_a = \frac{s_a}{12}$ и $n_в = \frac{s_в}{10}$, откуда $\frac{n_a}{n_в} = \frac{10}{12} \frac{s_a}{s_в}$. Заменяя $\frac{s_a}{s_в} = \frac{l}{B}$, получим $\frac{n_a}{n_в} = \frac{10}{12} \frac{l}{B}$ Сравнивая отношение чисел оборотов $\frac{5}{2 \cdot 9} x_н =$

$= \frac{10}{12} \frac{l}{B}$, находим $x_н = \frac{a_3 \cdot c_3}{b_3 \cdot d_3} = 3 \frac{l}{B}$.

Передаточное отношение сменных колес гитары дифференциала при диагональном нарезании прямозубых колес. Число оборотов стола за один оборот фрезы $n_с = \frac{K}{,}$, а число оборотов вала *XXIX* за это же время $n_в = \frac{H_a}{12}$, где H_a осевой ход фрезы. Отношение этих оборотов $\frac{n_с}{n_в} = \frac{12K}{H_a z}$ Это же отношение по кинематической цепи вал *XXIX* — стол через цепь дифференциала

$$\frac{n_с}{n_в} = \frac{48}{5} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{60} \cdot \frac{27}{2} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{1}{x_н} \cdot \frac{0}{40} \cdot \frac{35}{42} \cdot \frac{42}{35} \cdot x_r \cdot \frac{27}{27} \times$$

$$\times \frac{1}{36} \cdot i_r \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{l} \cdot x_л \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96};$$

при $i_r = 2$; $\frac{e}{f} = 1$; $x_л = \frac{24K}{z}$; будет $\frac{n_c}{n_в} = \frac{36}{25}\frac{x_r K}{x_н z}$. Сравним отношения $\frac{12K}{H_a z} = \frac{36}{25}\frac{x_r K}{x_н z}$, при $x_н = 3\frac{l}{B}$ и найдем $x_r = \frac{25l}{H_a B}$; $H_a = \frac{\pi m_n K}{\cos\lambda}$,

где λ — угол подъема витка фрезы, следовательно, $x_r = \frac{25\cos\lambda l}{\pi m_n K B}$.

Дополнительное передаточное отношение $x_{r_1} = 0{,}0036\ x_н =$

$= 0{,}0108\frac{l}{B}$. Полное передаточное отношение

$$x_r = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{7{,}95775\cos\lambda l}{m_n K B} \pm 0{,}0108\frac{l}{B}.$$

Зубофрезерный станок 5327

Зубофрезерный станок 5327 предназначен для нарезания цилиндрических и червячных зубчатых колес с величиной модуля до 10 *мм*. Червячные колеса можно нарезать с радиальной и осевой подачей.

Общий вид станка приведен на рис. 155, кинематическая схема — на рис. 156, а структурная — на рис. 157.

Суппорт может переключаться на рабочее и быстрое перемещение рукояткой *19* (см. рис. 155). При повороте рукоятки вправо разжимается фрикцион *Q* (см. рис. 156), освобождающий червячное колесо *28* от зацепления с валом *XII*, а кулачковая муфта M_1 включается в блок зубчатых колес *48—36* и соединяет этот блок с валом *XII*, от которого движение при рабочей подаче передается, согласно структурной схеме, суппорту. При повороте рукоятки *19* (см. рис. 155) влево кулачковая муфта M_1 (см. рис. 156) отключается от блока, а фрикцион *Q* сжимается и закрепляет червячное колесо на валу *XII*; быстрое вращение передается от отдельного электродвигателя $Э_2$ валу *XII* и дальше винту *XV*, перемещающему суппорт.

В начале фрезерования, когда фреза врезается в заготовку, зубья ее, вследствие прерывистого резания, работают с ударами. Поэтому для предохранения фрезы от быстрого затупления и поломки зубьев необходимо понижать вертикальную подачу суппорта. На станке с этой целью предусмотрен блок зубчатых колес *24—36*, насаженный на вал *XI* на шпонке. При врезании фрезы рукояткой *20* (см. рис. 155) включается передача колес *24* : *48* (см. рис. 156) с подачей в два раза меньшей, чем предусмотрено при фрезеровании. После окончания врезания блок упором *18* (см. рис. 155) автоматически перемещается на включение колес *36* : *36* и таким образом обеспечивается предусмотренная величина подачи при фрезеровании.

Для включения радиальной подачи необходимо рукояткой *33* (см. рис. 155) включить муфту M_2 (см. рис. 156) со втулкой зубчатого колеса *22* для закрепления этого колеса на валу *XVIII*. Тогда движе-

ние в направлении к суппортной стойке будет передаваться от вала *XII* через конические зубчатые колеса *22* : *28*, вал *XVII*, конические колеса *28* : *22* и вал *XVIII* червячной паре *1* : *32*. Червячное колесо этой пары закреплено на ходовом винте *XIX*, который может вращать-

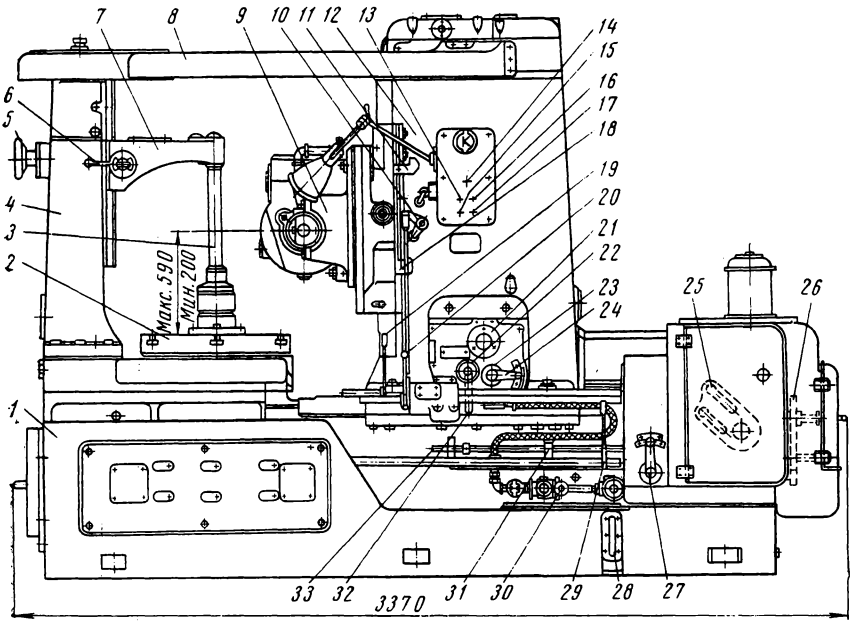


Рис. 155. Общий вид зубофрезерного станка 5327:

1 — станина, *2* — стол, *3* — оправка, *4* — задняя стойка, *5* — маховичок для закрепления поперечины, *6* — рукоятка для перемещения и закрепления кронштейна, *7* — кронштейн, *8* — поперечина, *9* — фрезерный суппорт, *10* — рычаг автоматического переключения величины вертикальной подачи при ступенчатом врезании, *11* — кулачок автоматической остановки, *12* — суппортная стойка, *13* — кнопка пуска главного электродвигателя, *14* — выключатель местного освещения, *15* — кнопка выключения главного электродвигателя, *16* — кнопка включения быстрого перемещения фрезерного суппорта вверх, *17* — кнопка включения быстрого перемещения фрезерного суппорта вниз, *18* — упор для ступенчатого врезания, *19* — рукоятка включения рабочей подачи, быстрого хода суппорта, суппортной стойки и включения механизма гидравлической догрузки, *20* — рукоятка включения ступенчатого врезания, *21* — манометр давления в гидросистеме, *22* — лимб отсчета перемещения суппортной стойки, *23* — гайка зажима кулачковой муфты ручного перемещения, *24* — рукоятка включения и выключения вертикальной подачи фрезерного суппорта, *25* — гитара подачи, *26* — делительная гитара, *27* — рукоятка включения и выключения механизма осевой подачи фрезы, *28* — указатель уровня масла в резервуаре гидросистемы и смазки, *29* — рукоятка включения радиальной подачи суппортной стойки, *30* — предохранительный клапан, *31* — упор для автоматического выключения радиальной подачи суппортной стойки, *32* — рукоятка для ручного перемещения фрезерного суппорта и суппортной стойки, *33* — рукоятка включения и выключения механической радиальной подачи суппортной стойки

ся, но не имеет осевого перемещения. При вращении винт ввинчивается в гайку зубчатого конического колеса *30* и перемещает ее вместе с колесом. Колесо смонтировано в стойке и при его перемещении перемещается и стойка.

Наладка данного станка ничем не отличается от наладки станка 5Д32, за исключением установки упора *18* (см. рис. 155) для переклю-

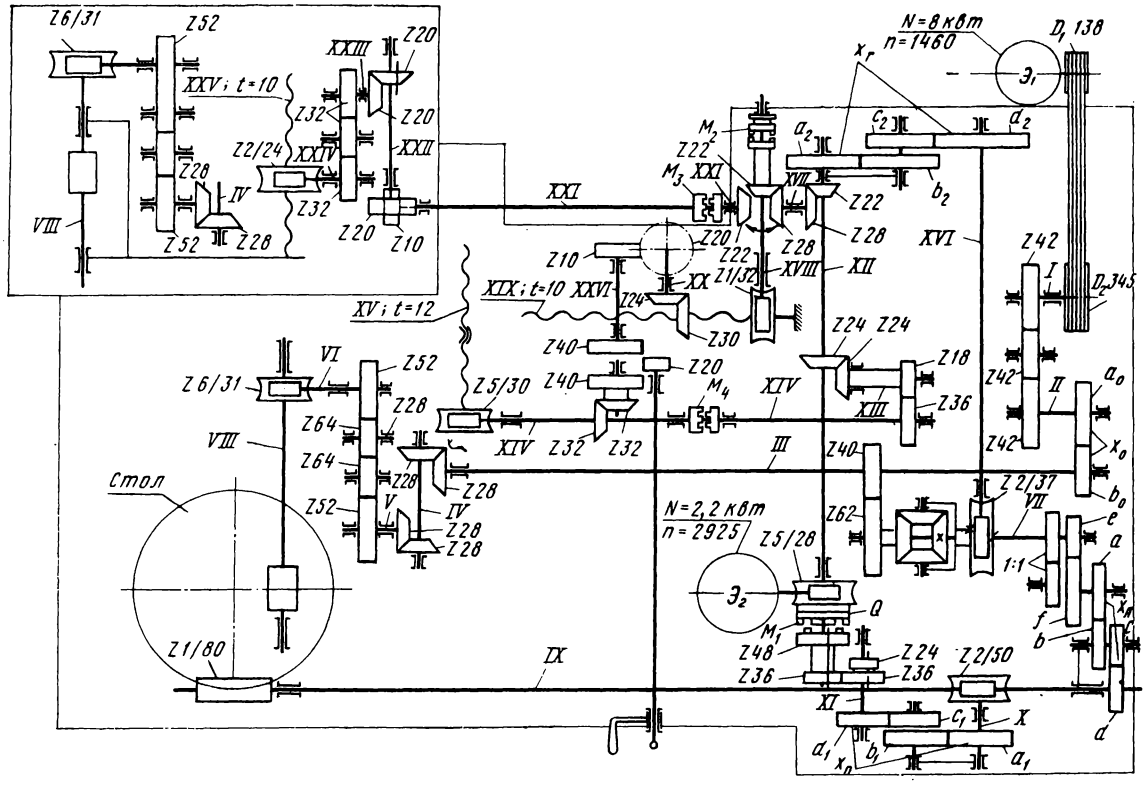


Рис 156 Кинематическая схема зубофрезерного станка 5327

чения подачи врезания на нормальную подачу фрезерования. Чтобы установить этот упор, надо механическим передвижением суппорта переместить фрезу, чтобы ось ее была на уровне торца заготовки, с которого начинается фрезерование; подвести упор ступенчатого врезания к ролику переключения и закрепить. После врезания упор автоматически переключит подачу на расчетную.

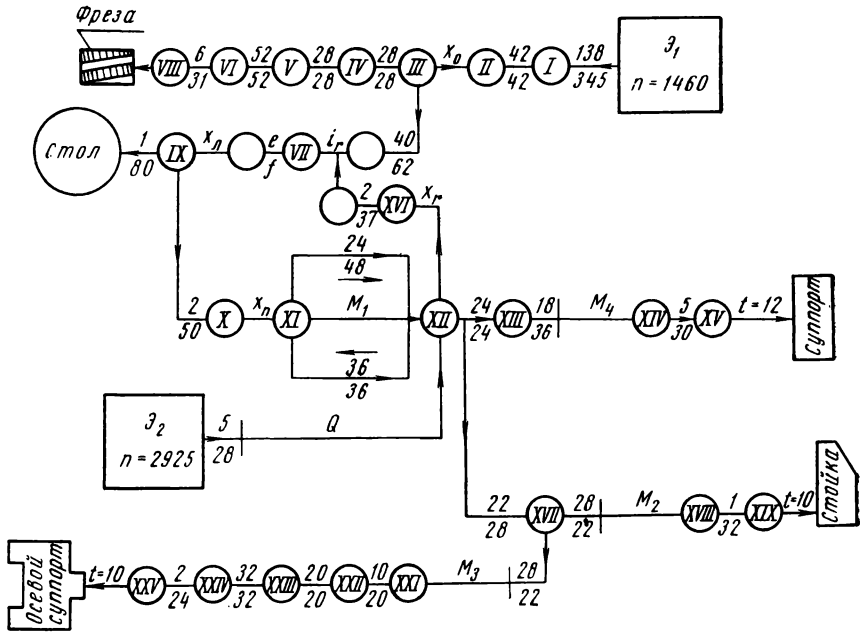


Рис. 157 Структурная схема зубофрезерного станка 5327

Зубофрезерный станок 5А312

Станок 5А312 предназначен для нарезания червячной фрезой методом обкатки цилиндрических прямозубых и косозубых колес модулем до 6 *мм*. В массивной станине *1* (рис. 158), состоящей из нижней и верхней частей, неподвижных одна относительно другой, имеются горизонтальные направляющие *3*, по которым перемещается суппорт *2* со шпинделем и червячной фрезой. Шпиндель может продольно передвигаться в суппорте для периодического перемещения фрезы вдоль оси ее. Стол *4* установлен на каретке *5*, которая по вертикальным направляющим перемещается вверх и вниз.

Установка фрезы на требуемое расстояние от оси колеса и ее врезание осуществляется горизонтальным перемещением суппорта, который потом закрепляется на горизонтальных направляющих. Установка

колеса по высоте и вертикальная подача при фрезеровании происходят при вертикальном перемещении каретки с нарезаемым колесом.

Вращение фрезе и столу передается от одного электродвигателя (для вертикальной подачи и быстрого перемещения стола имеется второй электродвигатель). Зубофрезерование может происходить со встречной и попутной подачей.

Станок имеет гидравлическую систему, при помощи которой осуществляются: ускоренный подвод и отвод суппорта с фрезой; медленный подвод его при врезании фрезы; периодическое перемещение червячной фрезы вдоль оси; подвод и отвод верхнего центра; зажим фрезерного суппорта на горизонтальных направляющих; зажим и разжим крепления нарезаемых колес.

Формулы передаточных отношений сменных зубчатых колес при наладке:

вертикальной подачи $x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{s_в}{28}$ ($s_в$, *мм/мин*); деления $x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24K}{z}$, дифференциала при нарезании косых колес $x_г = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{6 \sin \beta}{m_n K}$.

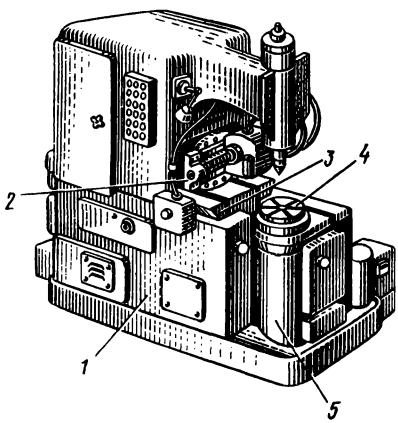


Рис. 158. Зубофрезерный станок 5А312

§ 57. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ЗУБОФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 5А341

В зависимости от способа врезания на глубину фрезерования горизонтальные зубофрезерные станки бывают двух типов: с подающей шпиндельной бабкой, несущей обрабатываемую заготовку, и с подающим фрезерным суппортом.

Общий вид станка изображен на рис. 159, а кинематическая и структурная схемы на рис. 160 и 161.

Станок предназначен преимущественно для нарезания червячной фрезой шлицевых валиков, а также зубчатых колес малых диаметров и цилиндрических шестеренчатых валиков. На станине *1* станка установлена передняя стойка *2* со шпиндельной бабкой *3*. В шпинделе *6* закрепляется один конец нарезаемой заготовки; другой конец поддерживается задним центром *7*. Червячная фреза закреплена на шпинделе *8* фрезерного суппорта *9* и расположена под обрабатываемой заготовкой. Передняя стойка *2* и задняя *10* соединены поперечиной *5*. Шпиндельная бабка вместе с подвижным задним центром и обрабатываемой заготовкой может перемещаться в вертикальной плоскости вниз по направлению к фрезе для осуществления врезания. Подача вдоль оси

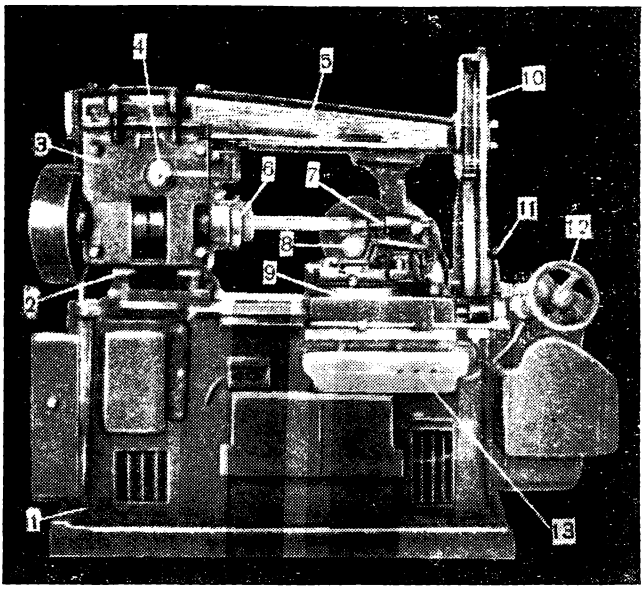


Рис. 159. Горизонтальный зубофрезерный станок 5А341:

1 — станина, *2* — передняя стойка, *3* — шпиндельная бабка, *4* — квадрат с лимбом для ручного подъема шпиндельной бабки, *5* — поперечина, *6* — шпиндель изделия, *7* — задний центр, *8* — шпиндель фрезы *9* — фрезерный суппорт, *10* — задняя стойка, *11* — рукоятка выключения автоматических подач, *12* — маховичок ручного перемещения салазок фрезерного суппорта, *13* — кнопочная станция

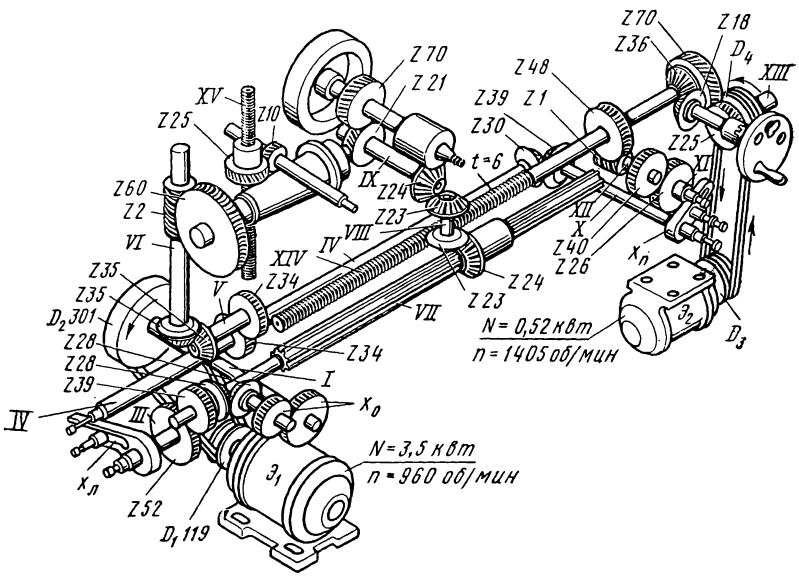


Рис. 160 Кинематическая схема горизонтального зубофрезерного станка 5А341

заготовки обеспечивается перемещением фрезерного суппорта с фрезой по горизонтальным направляющим станины параллельно оси заготовки.

Как передается движение по отдельным кинематическим цепям механизма, видно из кинематической и структурной схем. Необходимо только отметить, что ходовой винт *XIV* (см. рис. 160), перемещающий фрезерный суппорт, при вращении ввинчивается в гайку, закрепленную в салазках этого суппорта и перемещает его. Коническое зубчатое колесо

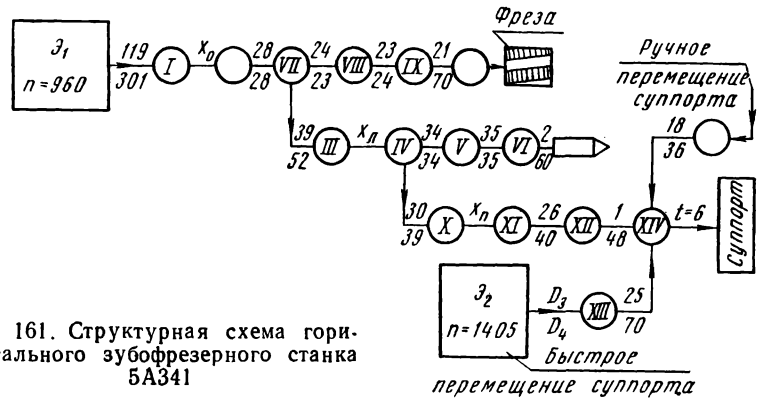


Рис. 161. Структурная схема горизонтального зубофрезерного станка 5А341

24 тоже закреплено в салазках суппорта и при перемещении его скользит по шлицевому валу *VII*, не нарушая передачи движения к шпинделю фрезы.

Винтовые колеса *10* : *25* служат для ручного вертикального перемещения шпиндельной бабки при вращении квадрата *4* (см. рис. 159).

Число оборотов фрезы определяется по формуле

$$n_ф = 318\frac{v}{d_ф}\ об/мин,$$

где v — скорость фрезерования, *м/мин*.

Передаточное отношение x_0 сменных зубчатых колес коробки передач, входящих в кинематическую цепь электродвигатель — фреза, рассчитывается по формуле

$$x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n_ф}{112}.$$

Передаточное отношение $x_п$ сменных зубчатых колес гитары подачи в цепи шпиндель — винт *XIV* рассчитывается по формуле

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{8}{15}s,$$

где s — величина подачи суппорта вдоль оси заготовки на один ее оборот.

Сменные зубчатые колеса гитары деления, входящие в кинематическую цепь фреза — шпиндель, рассчитываются по формуле

$$x_л = \frac{ab}{cd} = \frac{12K}{z},$$

где K — число заходов фрезы; z — число зубьев нарезаемого колеса.

Все эти формулы выводят, пользуясь структурной схемой, на основании правил, изложенных при рассмотрении зубофрезерного станка 5Д32.

Станок 5А341 не имеет дифференциала, а поэтому при нарезании колес с винтовыми зубьями надо рассчитывать сменные зубчатые колеса гитары деления на бездифференциальную нарезку косозубых колес. Передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары деления рассчитывается по формуле

$$x_л = \frac{12K}{z}\left(\frac{T}{T - s}\right),$$

где s — величина подачи суппорта вдоль оси нарезаемого колеса за один оборот его; T — шаг винтовой линии зубьев колеса в *мм* определяется по формуле

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

Пример расчета наладки. Наладить станок для нарезания шпоночного валика с числом шлицев $z=6$. Фреза однозаходная $K=1$, $d_ф=75$, скорость резания $v=18$ *м/мин*, горизонтальная подача $s=2$ *мм* за один оборот заготовки.

1. Расчет сменных колес гитары деления. Шпоночный валик рассматриваем как зубчатую деталь с количеством зубьев $z=6$. Передаточное отношение зубчатых колес гитары деления

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{12}{z}K = \frac{12 \cdot 1}{6} = 2 = \frac{80}{40}.$$

Для соединения колес устанавливаем два промежуточных сменных колеса по $z=59$

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{80 \cdot 59}{59 \cdot 40}.$$

2. Расчет сменных зубчатых колес коробки передач скоростей резания:

число оборотов фрезы:

$$n_ф = 318 \cdot \frac{v}{d_ф} = 318\frac{18}{75} \approx 76 \text{ об/мин}.$$

Ближайшее число по таблице руководства к станку $n_ф=78$ *об/мин*, передаточное число сменных колес:

$$x_0 = \frac{d_0}{b_0} = \frac{n_ф}{112} = \frac{78}{112} = 0{,}6964.$$

По таблице принимаем сменные колеса:

$$\frac{a_0}{b_0} = \frac{23}{33} = 0{,}6969.$$

3. Расчет сменных зубчатых колес гитары подач:

$$x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{8}{15} \cdot s = \frac{8}{15} \cdot 2 = \frac{48}{45}.$$

Для соединения колес устанавливаем промежуточные колеса.

ГЛАВА XIII

ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ И ЗУБОСТРОГАЛЬНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

§ 58. ЗУБОДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

Зубодолбежные станки так же, как зубофрезерные, в зависимости от расположения оси нарезаемого колеса, подразделяются на вертикальные и горизонтальные.

На вертикальных зубодолбежных станках нарезают прямозубые и косозубые колеса разных размеров как с внутренними, так и с наружными зубьями. В зависимости от размеров нарезаемых колес станки выпускаются разных моделей, отличающихся как размерами, так и расположением основных частей и механизмов, передающих движение отдельным частям станка.

При описании работы на зубодолбежных станках изложен принцип зубонарезания, рассмотрено устройство основных частей станка 514, взаимодействие звеньев по кинематической схеме и его наладка. Ниже приводится описание других зубодолбежных станков.

Зубодолбежный станок 5А12

Общий вид станка 5А12 изображен на рис. 162. Устройство станка аналогично станку 514, но расположение узлов и механизмов значительно отличается от него.

Станина состоит из трех частей: нижней *1*, средней *2* и верхней *4*. В средней части расположен стол *3*, на котором устанавливается нарезаемое колесо. Верхняя часть имеет горизонтальные направляющие *5*, по которым перемещается суппорт *6*.

На кинематической и структурной схемах (рис. 163 и 164) показана передача движений по отдельным цепям:

Скоростная цепь: электродвигатель—возвратно-поступательное движение долбяка.

Вращение долбяка: вал *I*—долбяк.

Вращение стола : вал *II* — стол.

Радиальная подача долбяка при врезании: вал *VII* — суппорт.

Отход стола от долбяка при холостом ходе: вал *I* — стол.

Врезание долбяка происходит следующим образом. На валу *IX*

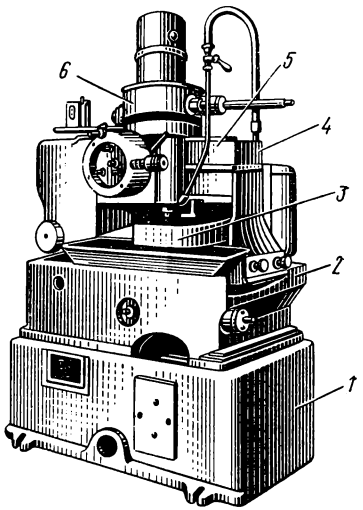


Рис. 162. Общий вид зубодолбежного станка 5А12

насажен кулачок *K*, четвертая часть которого выполнена по спирали, а остальная часть по окружности. Вал *X* под действием груза (на схеме не показан) все время стремится вращать насаженное на нем колесо *14*, сцепляющееся с нижней частью рейки *F*, и перемещать рейку, прижимая ролик, закрепленный на конце его,к кулачку. При вращении

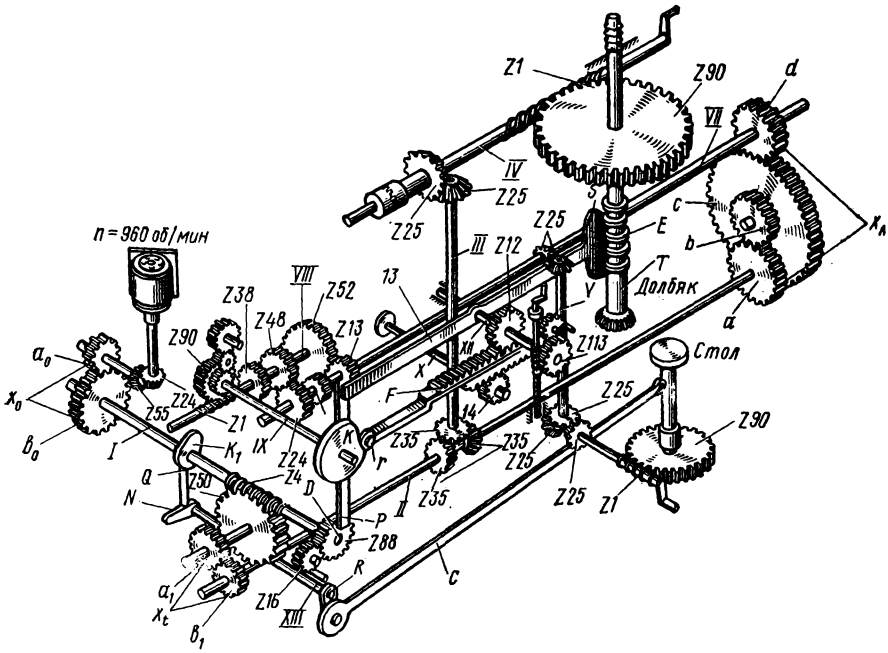


Рис. 163 Кинематическая схема зубодолбежного станка 5А12

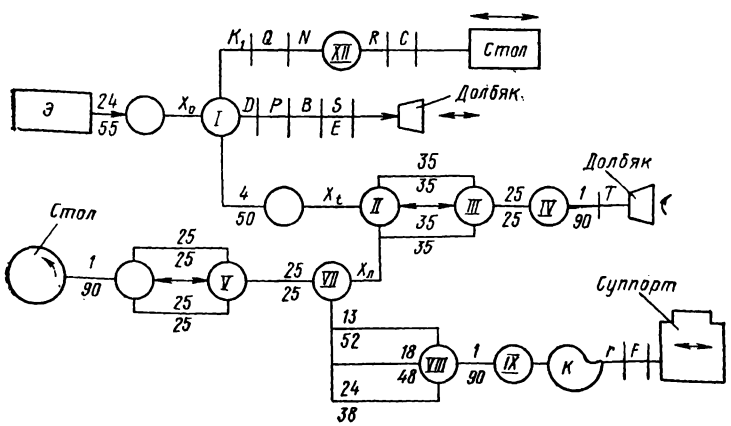


Рис. 164. Структурная схема зубодолбежного станка 5А12

кулачок спиральной частью нажимает на ролик и перемещает рейку по направлению к столу. Рейка соединена с суппортом и перемещает его вместе с долбяком к зубьям колеса, осуществляя радиальное врезание долбяка. Когда кулачок повернется на одну четвертую часть, ролик перейдет на окружность и кулачок не будет перемещать рейку с суппортом; врезание прекратится и долбяк будет нарезать зубья по окружности.

Установка суппорта на необходимое расстояние от долбяка до оси нарезаемого колеса выполняется вращением рукоятки шестерни *12*, которая катится по верхней части рейки и перемещает суппорт без перемещения рейки.

Формулы передаточных отношений, определяемых при наладке, следующие:

сменных колес скорости резания $x_0 = \frac{a_0}{b_0} = 1{,}2\frac{v}{L}$ или $x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{418}$,

где v — скорость резания, n — число двойных ходов, L — длина хода долбяка;

сменных колес окружной подачи $x_t = \frac{a_1}{b_1} = \frac{358\, s_t}{d_д}$;

гитары деления $x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_д}{z}$.

Зубодолбежный станок 5Б150

Станок (рис. 165) предназначен для нарезания зубчатых колес диаметром до 800 *мм* с большими модулями. Станок работает с отводом долбяка при холостом ходе, поэтому отсутствует колебание стола, что обеспечивает спокойную работу станка.

При замене направляющих штосселя, как и на других зубодолбежных станках, на нем можно нарезать косозубые колеса.

Кинематическая схема станка приведена на рис. 166, а структурная — на рис. 167.

Возвратно-поступательное движение долбяка осуществляется следующим образом. От электродвигателя $Э_1$ вращение передается через шкивы $D_1=125$ *мм* и $D_2=350$ *мм*, вал *I*, передачу *28* : *47*, вал *II* и сменные зубчатые колеса x_0 валу *III*. При помощи сменных колес изменяется число двойных ходов долбяка. От вала *III* вращение передается через цилиндрическую зубчатую передачу *19* : *75* валу *IV*. Зубчатое колесо *75*, насаженное на этом валу, выполнено в виде диска с диаметральным пазом, в котором перемещается палец при помощи винта *m*. Этот винт соединен с водилом *n*, которое передает качание зубчатому сектору *S*, входящему в зацепление с круглой рейкой штосселя *T*. При качании сектора штоссель с долбяком совершает возвратно-поступательное движение. За один оборот диска долбяк совершает один двойной ход.

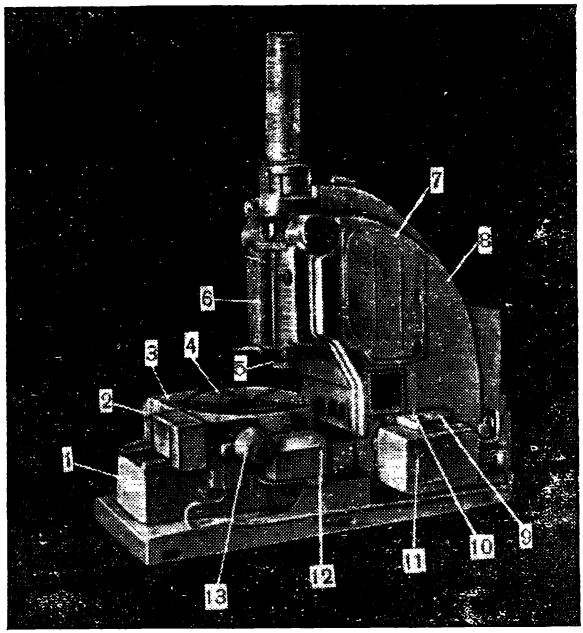


Рис. 165 Общий вид зубодолбежного станка 5Б150:

1 — станина, *2* — рукоятка переключения вращения стола на рабочий и быстрый ход, *3* — каретка стола, *4* — стол, *5* — долбяк, *6* — суппорт, *7* — крышка, закрывающая кривошипный механизм, *8* — стойка, *9* — рычаг переключения перемещения стола на рабочее и быстрое, *10* — рычаг переключения удвоенной круговой подачи и выключения ее, *11* — квадрат для ручного перемещения стола, *12* — рукоятка подготовки пуска стола, *13* — электродвигатель быстрого вращения стола

Долбяк получает вращение от вала *IV* и при помощи роликовой цепи через звездочки *25* : *25* сообщает его валу *V*. От вала *V* вращение передается через двухступенчатый блок зубчатым колесам *30* : *30* или *40* : *20* и валу *VI*. Передаточное отношение колес *30* : *30* равно единице; передаточное отношение колес *40* : *20* равно двум и при включении их скорость вращения, передаваемая долбяку и столу, увеличится в два раза при неизменном числе двойных ходов долбяка, вследствие чего возрастает круговая подача в два раза.

Если вывести из зацепления обе пары зубчатых колес блока, вращение стола и долбяка приостановится и долбяк будет перемещаться только возвратно-поступательно. Блок переключается рычагом P_1. Вращение от вала *VI* передается через сменные колеса x_t круговой подачи валу *VII*. При изменении попарно зубчатых колес подачи меняется величина подачи. Сменные колеса могут входить в зацепление непосредственно или через паразитное зубчатое колесо для одновременного изменения направления вращения стола и долбяка.

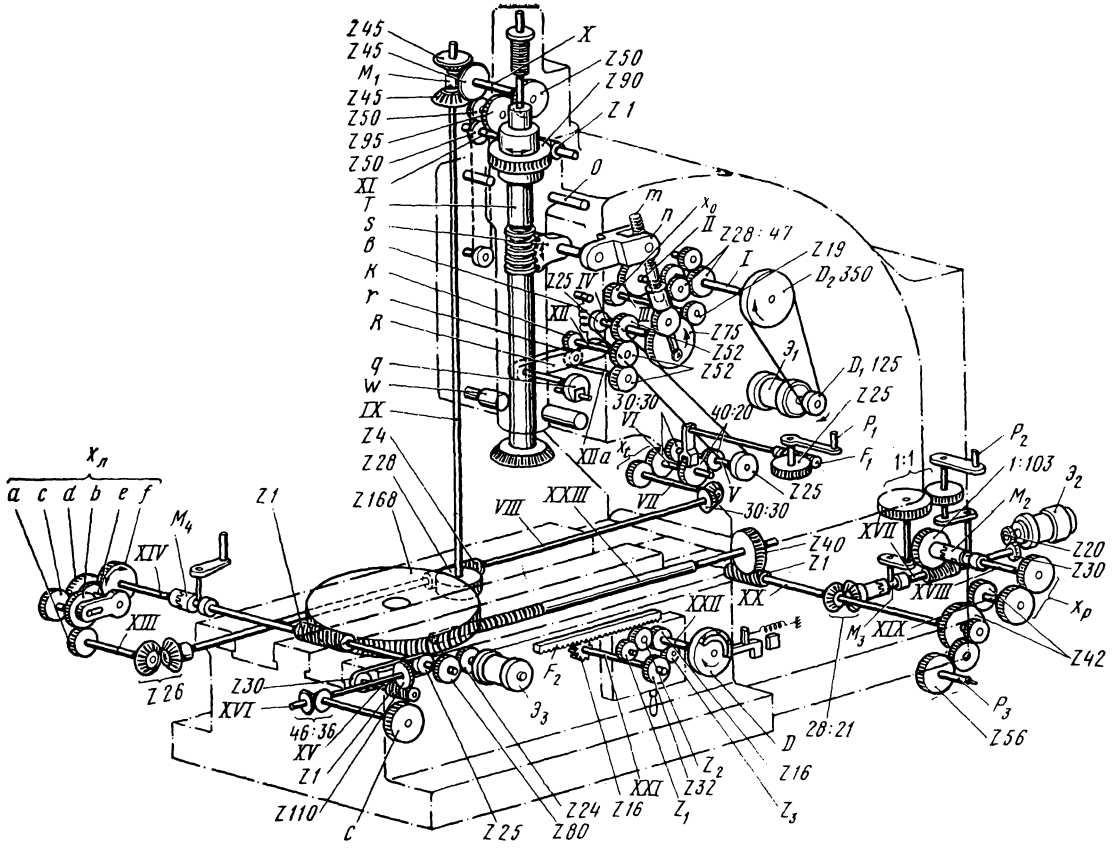


Рис. 166. Кинематическая схема зубодолбежного станка 5Б150:

M_1 — муфта реверса долбяка, T — штоссель, S — зубчатый сектор, b — пружина, K — кулак отвода долбяка, r — ролик, R — рычаг отвода долбяка, q — вилка отвода долбяка, W — вал-упор, M_4 — муфта, отключающая кинематическую цепь при включении быстрого вращения стола, C — диск отсчета числа оборотов стола, F_2 — рейка, $Д$ — диск с упорами, выключающими радиальную подачу, M_3 — муфта включения быстрого хода стола, P_2 — рычаг переключения перемещения стола на рабочее и быстрое, M_2 — муфта включения рабочего хода стола, P_3 — квадрат ручного перемещения стола, F_1 — рейка, P_1 — рычаг переключения удвоенной круговой подачи и выключения ее, n — водило, m — винт с правой и левой резьбой, O — ось качания корпуса суппорта

От вала *VII* вращение долбяку передается через конические зубчатые колеса *30* : *30*, вал *VIII*, червячную передачу *4* : *28* и вал *IX* реверсу, состоящему из трех конических зубчатых колес *45* : *45* : *45*. Переключение этих колес с одной пары на другую меняет направление вращения долбяка при неизменном вращении стола. Такое переключение необходимо при настройке станка для нарезания колес с наружными или внутренними зубьями. Дальше вращение долбяку передается согласно структурной схеме.

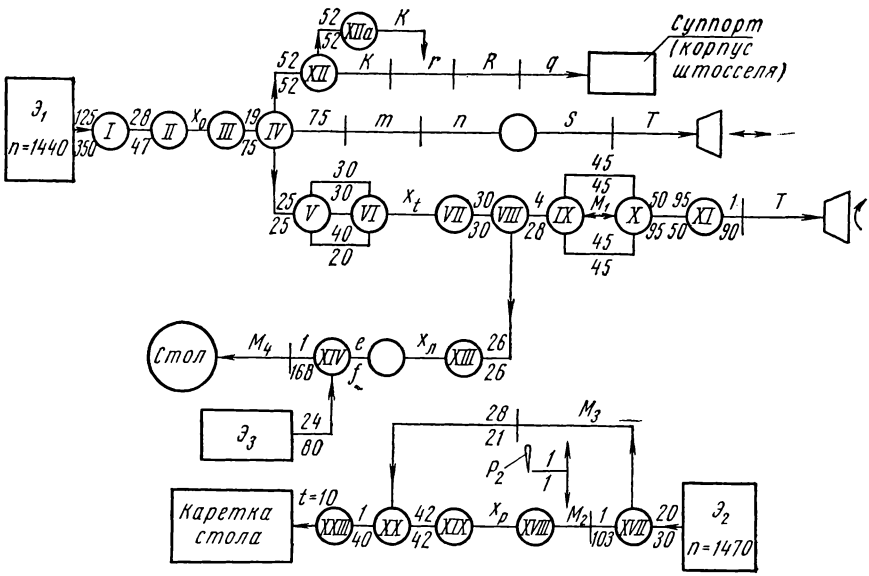


Рис 167. Структурная схема зубодолбежного станка 5Б150

Вращение столу передается от вала *VIII*, входящего в цепь передачи вращения долбяку. Таким образом, вращение стола и долбяка (вращение обкатки) согласованы между собой. От вала *VIII*, согласно структурной схеме, вращение передается через коническую передачу *26* : *26*, сменные зубчатые колеса гитары деления $x_л$ и сменные зубчатые колеса *e* : *f* валу *XIV* и дальше через червячную передачу *1* : *168* столу; при этом муфта M_4 должна быть включена.

От вала *XIV* через несколько передач, указанных на кинематической схеме, получает вращение диск *C* (см. рис. 166) отсчета оборотов стола.

Быстрое вращение стола осуществляется отдельным электродвигателем $Э_3$ через передачу *24* : *80* При быстром вращении стола надо отключить муфту M_4.

Отвод долбяка от заготовки при холостом ходе происходит при повороте корпуса, в котором смонтирован штоссель. При рабочем

ходе долбяка корпус упирается в вал-упор *W* и долбяк устанавливается на определенном расстоянии от заготовки. Механизм отвода долбяка получает движение от вала *IV*, вращающего кривошипный диск *75*, находящийся в цепи передачи движения долбяку. Поэтому работа механизма согласована с возвратно-поступательным движением долбяка: при движении долбяка вниз он продвигается в направлении к заготовке, и корпус штосселя упирается в неподвижный вал-упор; при движении вверх — отходит назад от заготовки.

Для отвода долбяка вал *IV* передает вращение через передачу *52* : *52* валу *XII*, на котором насажен кулак *K* отвода долбяка. Кулак при вращении нажимает частью своего профиля с наибольшим радиусом на эксцентриковый ролик *r*, закрепленный на рычаге *R*, и поворачивает этот рычаг. Последний воздействует на вилку *q*, которая поворачивает корпус штосселя вокруг оси *O* до упора его в вал-упор *W*. При холостом ходе долбяка ролик не нажимает на эксцентрик и рычаг под действием пружины *b* поворачивается в обратном направлении; вилка отводит корпус штосселя назад.

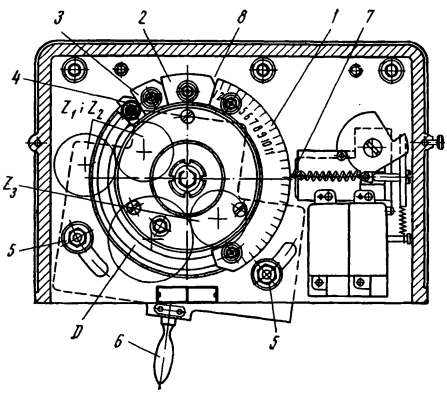


Рис. 168. Механизм глубины врезания

При нарезании колес с внутренними зубьями отвод и подвод долбяка в рабочее положение происходит в обратных направлениях: в рабочее положение долбяк перемещается в направлении от оси заготовки. Для этого случая зубонарезания необходимо: кулак отвода поставить на вал *XIIa*; повернуть ролик *r* так, чтобы он касался кулака и повернуть вал-упор вокруг его оси на 180°, чтобы зазор между ним и отверстием в корпусе был с другой стороны его окружности.

Подача стола при врезании и быстрое перемещение его вдоль направляющих осуществляется от отдельного электродвигателя $Э_2$. Эти перемещения в механизме станка происходят независимо от других движений. Для осуществления радиальной подачи вращение от электродвигателя $Э_2$, согласно структурной схеме, передается через передачи *20* : *30*, *1* : *103*, $x_р$, *42* : *42* и *1* : *40* винту *XXIII*, который ввинчивается в гайку, закрепленную в каретке стола, и перемещает каретку со столом вдоль направляющих. При этом муфта M_2 должна быть включена, а муфта M_3— отключена. Переключение их выполняется одновременно вращением рукоятки P_2. Для изменения величины подачи служат сменные зубчатые колеса $x_р$.

Для быстрого перемещения стола муфта M_3 включается, а муфта M_2— отключается и вращение от электродвигателя передается через зубчатые колеса *20* : *30* и коническую пару *28* : *21* валу *XX* и дальше

столу. Изменение направления подачи, в зависимости от нарезания колес с наружными или внутренними зубьями, и изменение направления быстрого перемещения стола осуществляются переключением электродвигателя $Э_2$.

Ручное перемещение стола выполняется при помощи квадрата P_3 (поз. 11, рис. 165). За один поворот квадрата стол перемещается на 0,5 *мм*. При этом обе муфты M_2 и M_3 должны быть выключены, для чего рукоятку P_2 устанавливают в среднее нейтральное положение.

В зависимости от величины модуля зубья нарезают за один или несколько проходов. Для обеспечения нужной глубины врезания при каждом проходе на диске *D* (рис. 168 и 166) устанавливают регулирующие сменные упоры. На станке есть набор упоров из 5 шт. Перед установкой упоров долбяк подводят к заготовке так, чтобы один зуб его касался внешнего диаметра венца зубьев. Затем основной неснимаемый упор *1*, на котором нанесены деления, указывающие глубину врезания, устанавливается в пазах диска так, чтобы при исходном положении долбяка цифра на упоре, соответствующая назначаемой глубине врезания при первом проходе, находилась против фиксатора *7*. Дальше устанавливается упор *2*, обеспечивающий глубину врезания при втором проходе; упор *3* для третьего прохода и упор *4* для четвертого прохода.

Так как продольное перемещение стола при нарезании колес с наружными и внутренними зубьями происходит в противоположных направлениях, а диск должен вращаться всегда в одном направлении, рукояткой *6* плиту поворачивают до зацепления зубчатого колеса *32* (см. рис. 166) с одним паразитным колесом z_3 или с двумя z_1 и z_2. Для этого отпускают две гайки *5* и после поворота закрепляют (см. рис. 168).

Установив упоры и повернув плиту в требующееся положение, следует повернуть рукоятку *12* (см. рис. 165) влево до отказа и отпустить; так подготавливают станок к пуску электродвигателей.

Затем включают электродвигатель главного движения $Э_1$ нажатием кнопки «Пуск» и электродвигатель $Э_2$ радиальной подачи нажатием кнопки «Рабочий ход».

Диск *D* (см. рис. 166) через механизм врезания получает вращение от рейки F_2, соединенной с кареткой стола, и нарезание происходит с радиальной подачей. Когда диск повернется до положения впадины *8* против фиксатора *7* (см. рис. 168), последний западет во впадину, электродвигатель радиальной подачи выключится собачкой и перемещение стола прекратится. Долбяк при этом углубится на величину, установленную для первого прохода. Дальше вращается стол и работает долбяк. Как только стол после прекращения подачи сделает один оборот, диск счетного механизма выключит электродвигатель главного движения и станок остановится.

Для следующего прохода нужно снова повернуть рукоятку *12* (см. рис. 165) влево до отказа и нажать кнопки «Пуск» и «Рабочий ход» и снова начнется врезание, пока упор *2* не переместится по фиксатору *7* (см.рис. 168) и фиксатор не западет во вторую впадину. При

втором и последующих проходах работа протекает так же, как и при первом.

Длину хода долбяка устанавливают изменением эксцентриситета кривошипного вала, перемещая палец кривошипа по пазу кривошипного диска *75* (см. рис. 166). Для этого снимают крышку *7* (см. рис. 165), освобождают гайку и вращают квадрат, смещающий палец кривошипа.

Расчет сменных зубчатых колес производится на основе кинематической и структурной схем так же, как и для других зубодолбежных станков. Основные формулы расчета сменных колес:

получение заданного числа n: $x_0 = \frac{a}{b} = \frac{n}{77,6}$, где n — число двойных ходов в минуту;

круговой подачи $x_t = \frac{a_1}{b_1} = \frac{200,3\, s_t}{d_д}$, где $d_д$ — диаметр делительной окружности долбяка; при $d_д = 100$ *мм*, $x_t = 2s_t$;

радиальной подачи $x_р = \frac{a_2}{b_2} = \frac{s_р n}{2,4}$ где $s_р$ — подача за один ход;

гитары деления

при $\frac{e}{f} = \frac{20}{75}$, $x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_д}{z}$,

при $\frac{e}{f} = \frac{32}{60}$; $x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_д}{2z}$,

где $z_д$—число зубьев долбяка, z —число зубьев колеса.

Зубодолбежный станок 5110

Станок 5110 (рис. 169) работает методом копирования профилей зубьев при одновременном нарезании зубьев всего венца. На станке нарезают колеса с модулем до 5 *мм*, диаметром до 100 *мм* и шириной венца до 50 *мм*.

Основными узлами станка являются: станина *1*, стол *2* с заготовкой, кронштейн *3* резцовой головки.

При работе шпиндель стола вместе с заготовкой совершает вертикальное возвратно-поступательное движение, а кронштейн стоит неподвижно; резцы, установленные в головке, перемещаются радиально в направлении к центру нарезаемого колеса на величину подачи за каждый рабочий ход заготовки, а при каждом холостом ходе перемещаются от центра и разводятся.

На рис. 170 изображена схема головки. Диск *1* головки крепится к кронштейну. В пазы диска вставляют резцы *5*, имеющие для каждого колеса специальный профиль зубьев, точно соответствующий профилю окончательно нарезанной впадины. Число резцов равно числу нарезаемых впадин колеса. Диск *2* удерживает резцы от перемещения вдоль оси головки.

На диске установлены два кольца с конусными заточками. Кольца в процессе работы перемещаются механизмом станка вдоль оси головки вверх и вниз. Движение заготовки и перемещение колец согласованы между собой. При начале движения заготовки *6* вверх (рабочий ход) кольцо *3* с конусной заточкой подает резцы в направлении к центру колеса на величину радиальной подачи и устанавливает их в рабочее

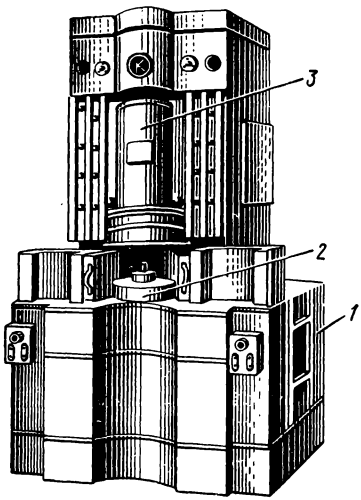


Рис. 169. Общий вид зубодолбежного станка 5110 для профильного копирования

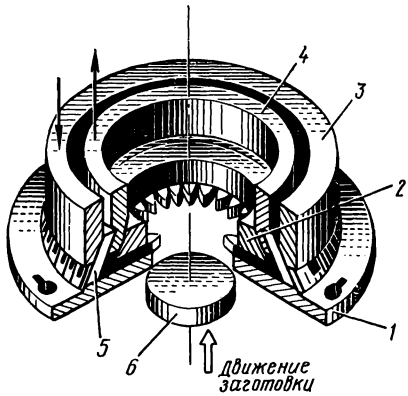


Рис. 170. Схема зубодолбежной головки для профильного копирования

положение. При начале движения заготовки вниз (холостой ход) кольцо *4* с такой же конусной заточкой отодвигает резцы от центра и разводит их для создания зазора между резцами и зубьями колеса для устранения трения.

Радиальная подача резцов при каждом ходе происходит до тех пор, пока не получится требуемая толщина нарезаемых зубьев на делительной окружности колеса и необходимая глубина впадины их.

Станки, нарезающие одновременно все зубья венца по методу копирования, дают высокую производительность (в 8—10 раз выше зубофрезерования), но в связи со сложностью и высокой точностью изготовления резцов, они имеют ограниченное применение.

Зубодолбежный станок для нарезания шевронных колес двумя долбяками

Колеса с шевронными зубьями на горизонтальных зубодолбежных станках нарезают двумя поочередно работающими долбяками с винтовыми зубьями. Общий вид станка для нарезания шевронных колес изображен на рис. 171. Узлы станка смонтированы на станине *1*. По

направляющим *2* движутся головки, служащие для поддержания шпинделей при их поступательном перемещении и для отвода долбяков *3* от зубьев нарезаемого колеса во время холостого хода. Обрабатываемое колесо *4* одним концом закреплено в шпинделе передней бабки *5*, а другой конец его поддерживает задняя бабка *7*. Вращательное движение шпинделю заготовки передается при помощи большого червячного колеса *6*, связанного кинематически с вращением шпинделей долбяков. Согласованное вращение долбяков и заготовки осуществляет процесс обкатки, так же как и на вертикальных зубодолбежных станках.

Оси долбяков параллельны горизонтальной оси обрабатываемого шевронного колеса. Долбяки имеют зубья разного направления — правого и левого. Правозаходная часть шеврона нарезается левозаходным долбяком, левозаходная — правозаходным.

Долбяки устанавливают на двух шпинделях, вставленных один в другой. Каждый шпиндель имеет свой направляющий копир одноименного направления с направлением зубьев насаженного на нем долбяка. При поступательном движении в одну и другую стороны внутренний и наружный шпиндели, вследствие разноименного направления их копиров, совершают повороты в разные стороны, а с ними вместе поворачиваются в разные стороны и долбяки в соответствии с направлением винтовой линии части шевронного колеса, которую они нарезают.

При возвратно-поступательном движении шпинделей в одну сторону один долбяк осуществляет резание, а другой — холостой ход, при обратном движении, наоборот. При холостом ходе каждый долбяк отводится от оси заготовки, так чтобы не касаться уже обработанной поверхности зубьев.

В начале цикла совершается врезание путем перемещения стола с установленной на нем заготовкой к оси шпинделя долбяков.

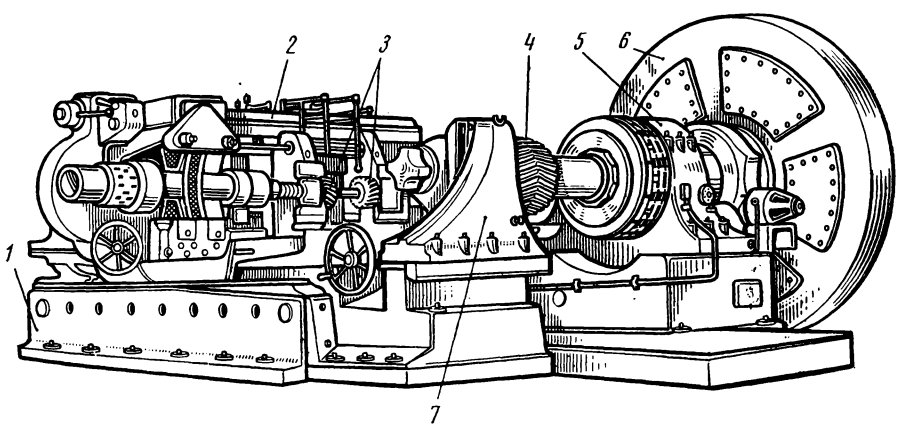


Рис. 171. Общий вид горизонтального зубодолбежного станка, работающего двумя долбяками

Зубострогальные станки, имеющие в качестве режущего инструмента зуборезную гребенку, работают по методу обкатки.

Зуборезная гребенка представляет собой зубчатую рейку, превращенную в режущий инструмент (рис. 172). У гребенок, не имеющих переднего угла заточки относительно передней плоскости тела, задний угол δ равен сумме переднего и заднего углов, образующихся при установке гребенки на станке. Гребенка устанавливается своей передней плоскостью к горизонтальной плоскости под углом 6°30′, при этом передний угол составляет 6°30′, а задний — 5°30′, профильный угол корректируют.

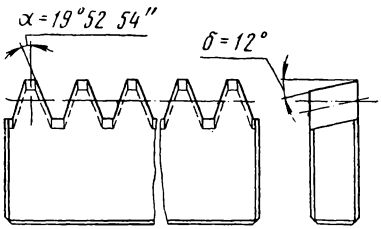


Рис. 172. Зуборезная гребенка

Общий вид вертикального зубострогального станка показан на рис. 173. Этот станок работает одной зуборезной гребенкой и предназначен для нарезания прямозубых и косозубых цилиндрических колес. В процессе резания ползун *1* с укрепленной на нем гребенкой совершает возвратно-поступательные движения в вертикальной плоскости вниз и вверх. Чтобы задние поверхности зубьев гребенки не терлись и не портили обработанную поверхность нарезаемых зубьев, гребенка во время холостого хода поворотом держателя, в котором она крепится, отводится на небольшую величину от нарезаемого колеса.

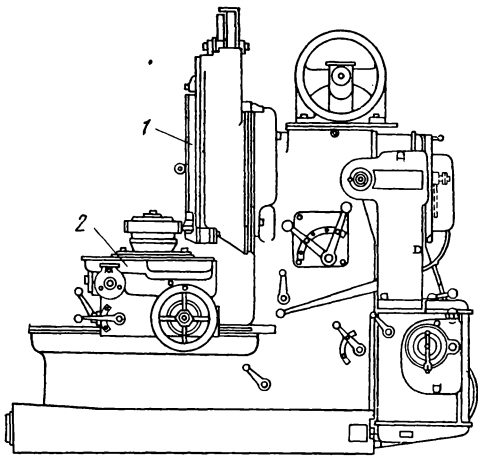


Рис. 173. Зубострогальный вертикальный станок

Движение обкатки совершается заготовкой, для чего стол *2* с закрепленной на нем заготовкой имеет два взаимно согласованных движения: вращательное и поступательное. Движение стола с заготовкой при обкатке происходит следующим образом. Стол устанавливают относительно гребенки так, чтобы наружная окружность нарезаемого колеса заходила на гребенку на глубину нарезаемых зубьев, а гребенка находилась перед началом резания вне этой окружности. Стол с колесом вращается вокруг своей оси и перемещается параллельно

гребенке; заготовка катится по гребенке. Перекатывание происходит во время холостого хода гребенки; во время рабочего хода, когда происходит процесс резания, заготовка не перемещается.

При перекатывании заготовки по гребенке вперед нарезаются от одного до трех зубьев, в зависимости от длины гребенки и настройки станка. Затем заготовка автоматически возвращается в исходное положение; при этом ползун с инструментом находится в верхнем нерабочем положении. При возвращении в исходное положение заготовка движется поступательно, без поворачивания вокруг оси.

Для осуществления процесса нарезания зубьев станок имеет следующие движения:

возвратно-поступательное движение ползуна с гребенкой вниз и вверх;

поступательное перемещение стола с заготовкой вперед параллельно гребенке, равное рабочему ходу с небольшим перебегом;

одновременное перемещение стола, согласованное с поступательным перемещением; эти движения создают процесс обкатки; обратное поступательное перемещение стола без вращения, равное рабочему ходу, и перемещение с вращением на величину перебега, в результате такого перемещения стол возвращается в исходное рабочее положение.

Для нарезания косозубых колес необходимо головку с ползуном повернуть на угол наклона винтовой линии зубьев косозубого колеса.

Прерывистость процесса обкатывания является одним из недостатков метода нарезания, снижает производительность и может быть причиной погрешности при нарезании зубьев.

ГЛАВА XIV

СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 60. СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Кроме станков, рассмотренных в главе VII при изучении нарезания конических колес с круговыми зубьями, здесь описаны и другие их модели.

Зуборезный станок 525

Общий вид станка приведен на рис. 174, а кинематическая схема — на рис. 175. При сопоставлении общих видов и кинематических схем этого станка и станка 528 видно, что станок 525 в основном аналогичен станку 528 и отличается от него, главным образом, размерами.

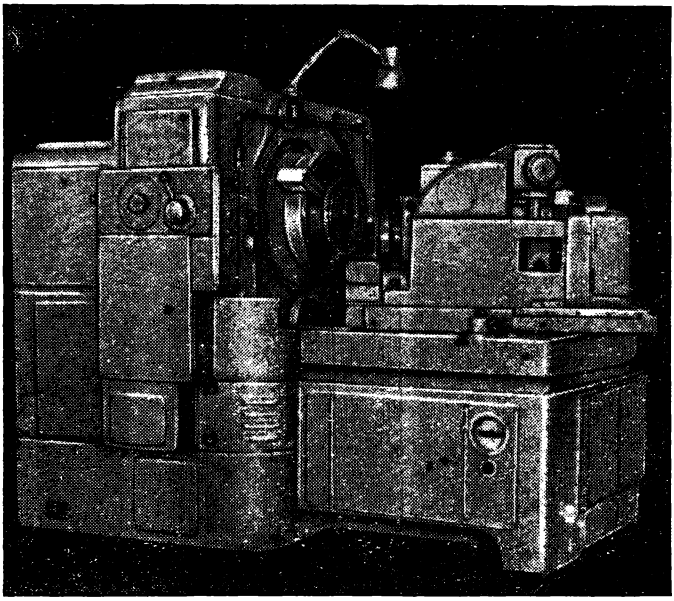


Рис. 174. Общий вид зуборезного станка 525

Кинематическая схема имеет некоторые особенности. Ускоренный холостой ход люльки может осуществляться с двумя скоростями, полученными переключением двухступенчатого блока с передачей *76* : *54* или *52* : *88*. При среднем положении блока включается привод ручного

проворачивания механизма станка. Муфта *М* служит для переключения на холостой ход люльки, минуя гитару подач, или на рабочий ход через эту гитару.

Кинематическая цепь обкатки и деления станка 525 короче и устроена несколько иначе. В этой цепи движение передается от вала *1* через коническую передачу *23* : *23*, вал *11*, свободно проходящий через отверстие составного колеса, через зубчатую пару *75* : *60* или *27* : *108* и дальше по кинематической цепи, как и на станке 528, к шпинделю.

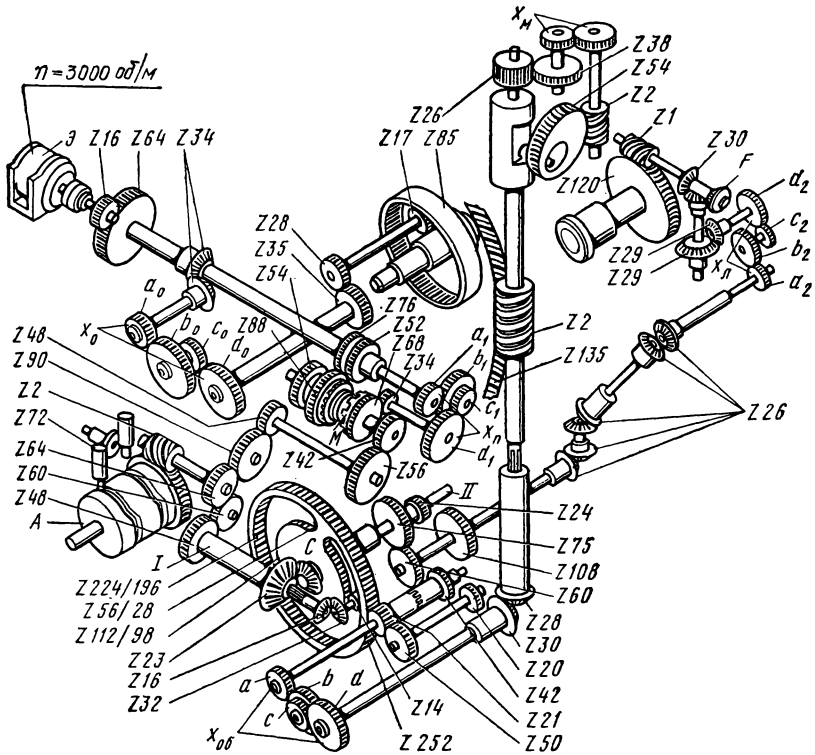


Рис 175. Кинематическая схема зуборезного станка 525

Реверсивное колесо получает движение от полого вала *1*, который при помощи внутренних шлицев вращает валик конического зубчатого колеса *16*, сцепляющегося с другим коническим колесом *32*. На одном валике с этим колесом закреплено цилиндрическое колесо *14*, находящееся между наружной и внутренней частью составного колеса в выемке. При выходе колеса *14* из зацепления с наружным сектором составного колеса и зацеплении с внутренним и наоборот изменяется направление вращения этого колеса.

Вращение колеса через зацепление наружного венца *252* : *21* передается валику, на котором насажено первое зубчатое колесо *a* ги-

тары обкатки. Эта передача может происходить непосредственно при соединении торцами зубчатого колеса *21* с зубчатым колесом *42* или при разъединении торцов и включении передачи *20* : *42* через колеса $\frac{21}{50} \cdot \frac{20}{42}$, уменьшающих передачу в пять раз. Дальше движение передается люльке через гитару обкатки.

Эксцентриситет барабана резцовой головки на станке 525 $K=135$.

Формулы расчета передаточных отношений сменных зубчатых колес следующие:

для получения числа оборотов головки $x_0 = \frac{a_0 \cdot c_0}{b_0 \cdot d_0} = \frac{n}{187,5}$;

гитары подачи $x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{13,5}{t}$;

гитары деления:

при нарезании с обкаткой $x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{2q}{z}$;

при нарезании врезанием $x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{10}{z}$;

гитары обкатки:

при нарезании методом обкатки $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{3,5}{z_c}$;

при нарезании врезанием $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{17,5}{z_c}$.

Зуборезный станок 5А27С2

Этот станок имеет такое же устройство, как и рассмотренный ранее станок 5А27С1, но отличается конструкцией люльки.

В люльке этого станка инструментальный шпиндель с резцовой головкой может наклоняться под заданным углом, при применении головки с номером резцов $N_ф$, отличающихся от требующегося номера N_0.

Ниже рассматривается установка люльки при наладке с наклоном шпинделя (рис. 176).

На плоскости люльки имеются салазки *1*, перемещение которых валиком *4* и винтом *5* смещает ось инструментального шпинделя на величину радиальной установки $U=\sqrt{H^2+V^2}$, отсчитываемую по шкале *18*. Салазки после установки закрепляют рукояткой *8*.

Люлька вместе с салазками поворачивается на угол установки Q, величина которого равна: для правоспирального колеса $Q_{пр}=q$, для левоспирального $Q_{лев}=360°-q$, где q—координатный угол, определяемый по формуле

$$\operatorname{tg} q = \frac{V}{H}.$$

Угол установки люльки отсчитывается по шкале люльки *9*.

В салазках находится перемещающийся с ними барабан *6*, центр которого совпадает с осью инструментального шпинделя. В центре барабана установлен кронштейн *11*, в котором расположен инструментальный шпиндель *15*. Барабан при наладке станка поворачивается

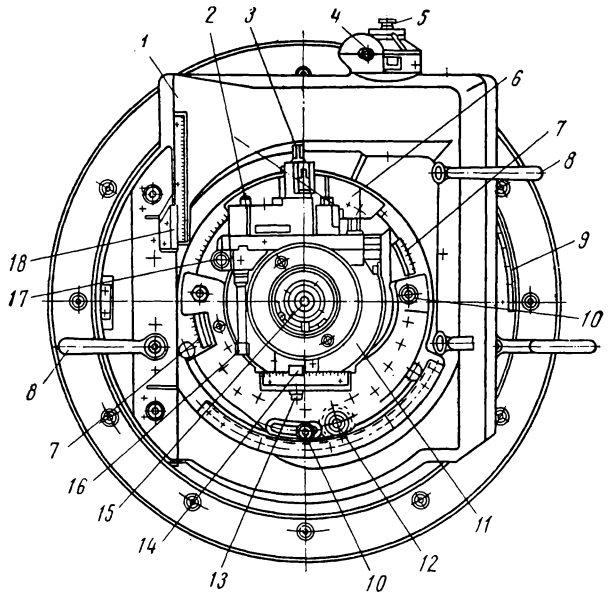


Рис. 176. Люлька зуборезного станка 5А27С2:

1 — салазки, перемещающиеся по направляющим люльки, *2* — гайка зажима кронштейна, *3* — валик для наклона кронштейна, *4* — валик для вращения винта, *5* — винт для перемещения салазок, *6* — барабан, *7* — шкала с нониусом для отсчета угла поворота барабана, *8* — рукоятка зажима салазок после установки, *9* — шкала с нониусом для отсчета угла установки люльки, *10* — гайка зажима барабана после поворота, *11* — поворотный кронштейн, *12* — валик для поворота барабана, *13* — гайка зажима кронштейна после поворота на угол, *14* — шкала и нониус отсчета угла наклона шпинделя, *15* — инструментальный шпиндель, *16* — зажим шпинделя после регулировки установки головки в осевом направлении, *17* — винт перемещения шпинделя в осевом направлении, *18* — шкала и нониус для отсчета перемещения салазок

вокруг оси шпинделя валиком *12*, а кронштейн наклоняется (без барабана) вместе со шпинделем на заданный угол. При этом он поворачивается вокруг оси, параллельной плоскости люльки, и находится на расстоянии $K=368{,}3$ от плоскости вершин резцов головки. Это расстояние соблюдается при каждой установке головки, проверяется специальными калибрами и регулируется поворотом винта *17*. После регулировки шпиндель закрепляют от осевого перемещения зажимом *16*. Наклон кронштейна осуществляется валиком *3* и закрепляется после поворота на заданный угол гайкой *2* и *13*.

При повороте люльки на угол установки Q и перемещении салазок на величину радиальной установки ось инструментального шпинделя

располагается на люльке соответственно координатам установки *H* и *V*.

При наладке люльки необходимо установить люльку на угол *Q* (отсчет углов производится по шкале *9* на корпусе люльки); сместить салазки на величину радиальной установки (отсчет производится по шкале *18*); наклонить кронштейн со шпинделем на заданный угол (отсчет по шкале *14*) и повернуть барабан *6* посредством валика *12* на угол, отсчитываемый по шкале *7*; закрепить барабан гайкой *10*.

§ 61. ЗУБОСТРОГАЛЬНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ПРЯМОЗУБЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

При изучении процесса нарезания конических колес с прямыми зубьями была рассмотрена работа станка 526 и его наладка. Ниже описываются устройства и наладка зубострогальных станков других моделей.

Зубострогальный станок 5А26

Станок 5А26 более усовершенствованной конструкции, чем станок 526. Он имеет гидравлическое устройство для зажима обрабатываемой заготовки и для отвода и подвода стола к люльке. Станок быстроходнее и более приспособлен для зубонарезания с большим числом двойных ходов в минуту.

Общий вид станка показан на рис. 177, а кинематическая схема на рис. 178. При сравнении общего вида и кинематической схемы данного станка со станком 5А27С1 (см. рис. 102 и 103) для нарезания конических колес с круговыми зубьями, рассмотренным ранее, видно, что оба станка выполнены одинаково, за исключением устройства люльки. Поэтому все изложенное об устройстве механизма станка 5А27С1 и управления им относится и к станку 5А26.

Принцип нарезания прямозубых колес такой же, как и на станке 526, только работа за один цикл выполняется несколько иначе.

При рабочем цикле с обкаткой выполняются следующие движения: подвод стола с бабкой в рабочее положение; рабочая обкатка при движении люльки сверху вниз; отвод стола и обратное вращение люльки и заготовки при холостом ходе, во время которого происходит деление — поворот заготовки на один зуб.

На станке 5А26 можно выполнять также черновое нарезание без обкатки. В этом случае рабочий цикл осуществляется следующим образом: совершается рабочая подача стола с бабкой, люлька неподвижна, заготовка не вращается, резцы постепенно врезаются в заготовку, затем происходит отвод стола с бабкой и деление.

Движение резцам передается следующим образом. От электродвигателя *Э* вращение сообщается через зубчатую передачу *12* : *41*, вал *I*, сменные зубчатые колеса коробки передач x_0, вал *II* и коническую передачу *17* : *38* центральному валу *III* люльки. На конце этого вала, обращенном к заготовке, находится кривошипный диск *D*. Палец диска

посредством шатуна качает коромысло *T*, соединенное с ползунами *E*, которые таким образом получают возвратно-поступательное движение по направляющим *C* сегментов. На центральном валу насажен также торцовый кулачок *K*, охватываемый двумя роликами, закрепленными на тяге *l*, соединенной с верхней направляющей *C*. При вращении

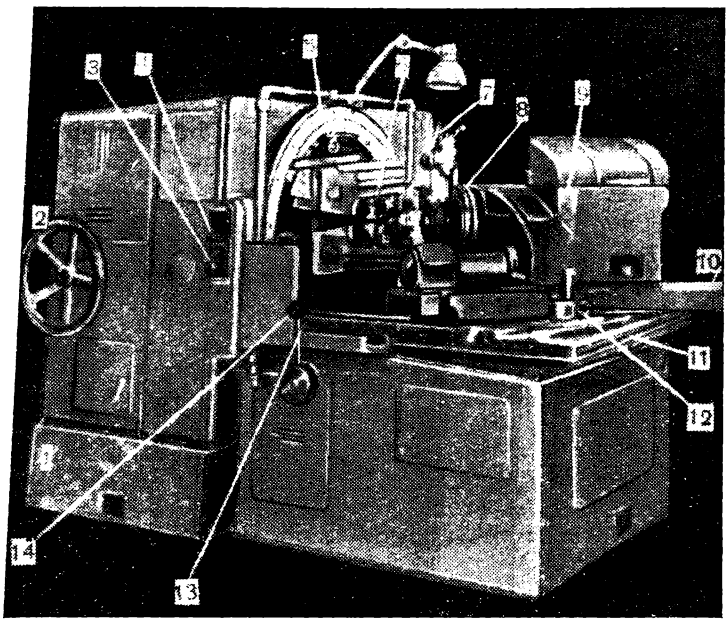


Рис. 177. Общий вид зубострогального станка модели 5А26:

1 — станина, *2* — маховичок для ручного поворота механизма станка, *3* — кнопочная станция главного электродвигателя, *4* — кнопочная станция гидропривода, *5* — люлька, *6* — резцовые суппорты, *7* — пакетный выключатель, *8* — шпиндель бабки изделия, *9* — бабка изделия, *10* — поворотный стол, *11* — продольный стол, *12* — внутренний квадрат для перемещения делительной бабки, *13* — рукоятка для быстрого подвода и отвода стола и для гидрозажима заготовки, *14* — кнопка ускоренного подвода и отвода стола

центрального вала направляющая *C* с помощью кулачка немного перемещается вперед и назад параллельно оси центрального вала, что необходимо для отвода резцов при обратном холостом ходе вдоль зубьев, а также для получения бочкообразного профиля зубьев. Аналогичное устройство имеется для отвода направляющей нижнего ползуна.

Люлька устроена несколько иначе, чем у станка 526, но порядок установки сегментов на угол и регулировка резцов по длине и высоте при помощи индикаторных приборов в принципе такие же.

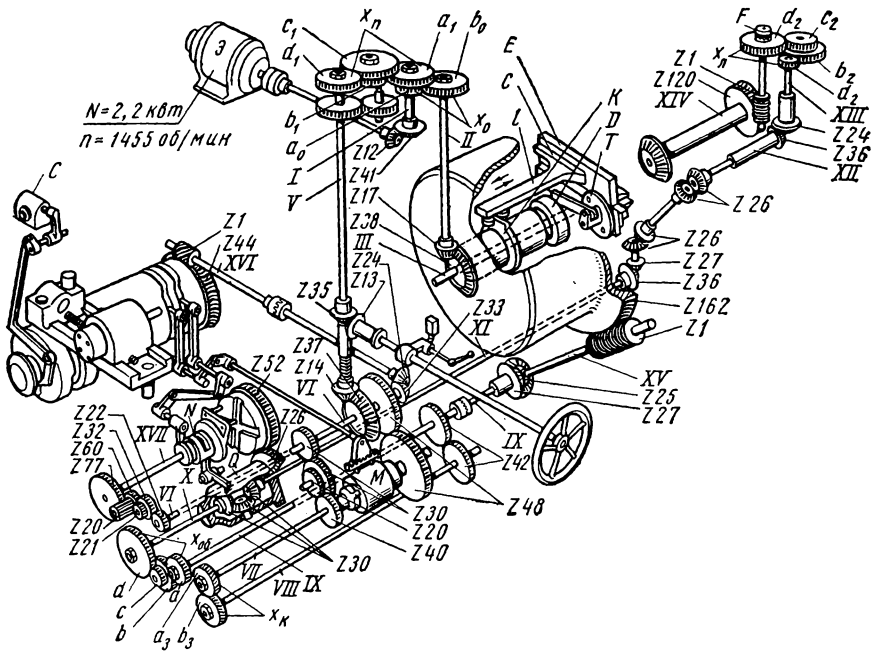


Рис. 178. Кинематическая схема зубострогального станка 5А26

Сменные зубчатые колеса рассчитывают по формулам:

для получения числа двойных ходов $x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{190,5}$;

гитары подач $x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{12}{t}$;

гитары обкатки $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{z_c}{75}$;

гитары деления $x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{30}{z}$;

качания люльки $x_к = \frac{a_3}{b_3} = \frac{\Theta}{24}$;

Обозначение величин в формулах те же, что и для станка 526

Зубострогальный станок 5А250

Зубострогальный станок 5А250 предназначен для нарезания прямозубых конических колес с модулем до 8 *мм*. Общий вид станка приведен на рис. 179, а кинематическая схема на рис. 180.

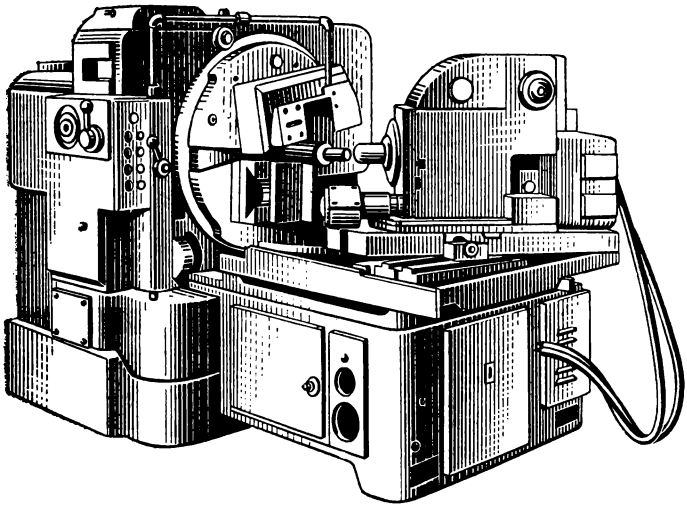


Рис. 179. Общий вид зубострогального станка 5А250

Основные узлы и механизм передачи движения люльке и заготовке точно такие же, как на станке 525 (см. рис. 174 и 175), только в процессе резания происходит движение резцедержателей с резцами на люльке. Движение люльки, стола и вращение заготовки происходит так же, как на станке 525.

Нарезание колес с обкаткой выполняется в таком порядке: подвод стола с бабкой в рабочее положение, рабочая обкатка при вращении люльки снизу вверх (против часовой стрелки), отвод стола, вращение люльки в обратную сторону и подвод стола для начала нового цикла. Заготовка все время беспрерывно вращается в одну сторону — против часовой стрелки, если смотреть со стороны торца заготовки, пока не повернется на расчетное число зубьев.

Нарезание зубьев без обкатки выполняется в таком порядке: заготовка подводится в рабочее положение и в процессе нарезания подается к люльке, пока резцы не нарежут требуемую впадину зубьев. Люлька при этом медленно поворачивается против часовой стрелки на небольшую величину. После нарезания впадины и изменения направления качания люльки заготовка отходит назад (от люльки) и начинается следующий цикл работы. Заготовка все время медленно повора-

чивается против часовой стрелки на один зуб для нарезания следующей впадины.

Движения резцов на люльке в принципе аналогичны движениям их на станке 5А26, но сегменты, суппорт и резцедержатели устроены иначе.

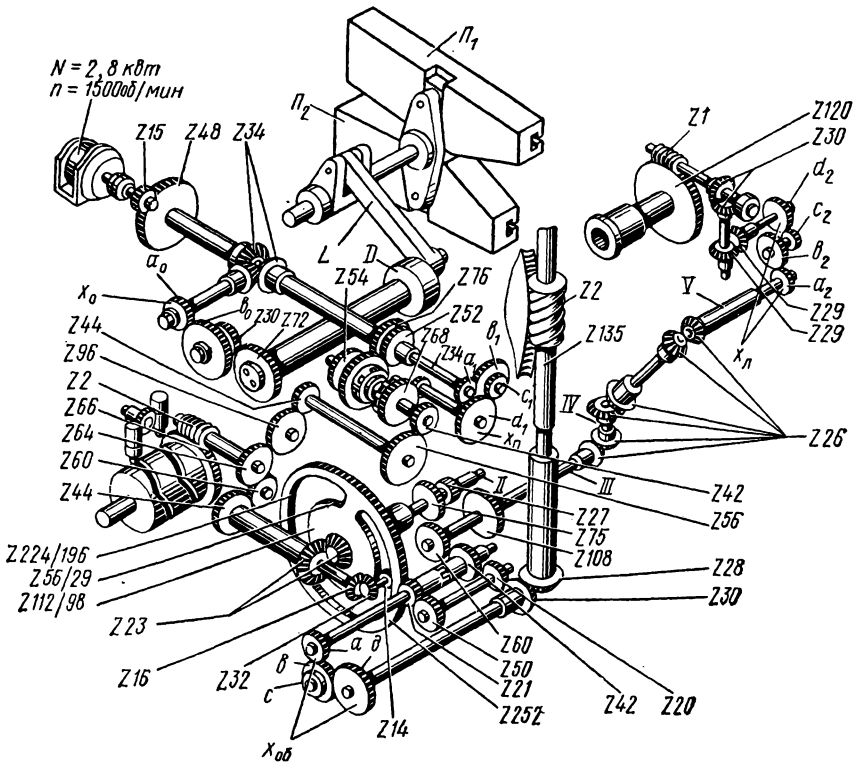


Рис. 180. Кинематическая схема зубострогального станка 5А250

Формулы расчета сменных зубчатых колес такие же, как для станка 525, за исключением подачи.

Сменные колеса для двойных ходов ползунов $x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{195,3}$;

гитары подачи $x_п = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{7,5}{t}$,

гитары деления $x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{2q}{z_c}$ или $x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{10}{z}$

гитары обкатки $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{3,5q}{z_c}$ или $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{17,5}{z_c}$.

Зубострогальный станок «Гарбек» 15KHS

На зубострогальном станке Гарбек 15KHS (рис. 181) можно нарезать как прямые, так и косозубые конические колеса.

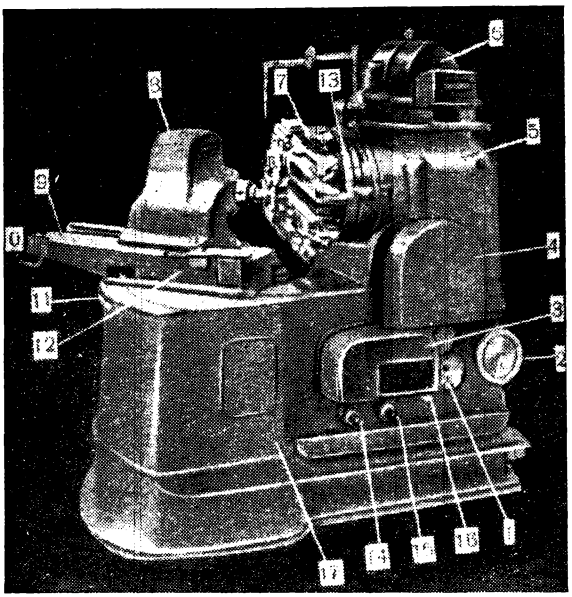


Рис. 181. Общий вид зубострогального станка «Гарбек» 15KHS:

1 — включение качания люльки, *2* — маховичок, устанавливающий величину качания люльки, *3* — гитара деления, *4* — гитара обкатки, *5* — корпус люльки, *6* — электродвигатель, *7* — люлька, *8* — бабка изделия, *9* — шкала осевого перемещения бабки изделия, *10* — рукоятка осевого перемещения бабки изделия, *11* — зубчатая рейка поворота салазок, *12* — салазки, *13* — нулевые риски на планшайбе и люльке, *14* — переключатель двухступенчатого блока подач, *15* — переключатель 5-ступенчатого блока подач, *16*—переключатель механизма деления, *17* — станина

Принцип работы станка отличается от работы станков 526 и 5А26. Бабку изделия устанавливают относительно резцов в положение, соответствующее нарезанию заданной глубины впадины, закрепляют, и в процессе нарезания всех зубьев бабка не изменяет своего положения.

При нарезании одного зуба выполняются следующие движения:

рабочая обкатка при движении люльки снизу вверх (против часовой стрелки) и вращении заготовки против часовой стрелки;

обратный быстрый холостой ход люльки сверху вниз (по часовой стрелке) и вращение заготовки по часовой стрелке. При этом резцы немного отодвигают назад во избежание трения их о нарезаемые поверхности зубьев с помощью тяги *7* и ролика *14*, эксцентрично насаженного на валике отводки *15* (рис. 182);

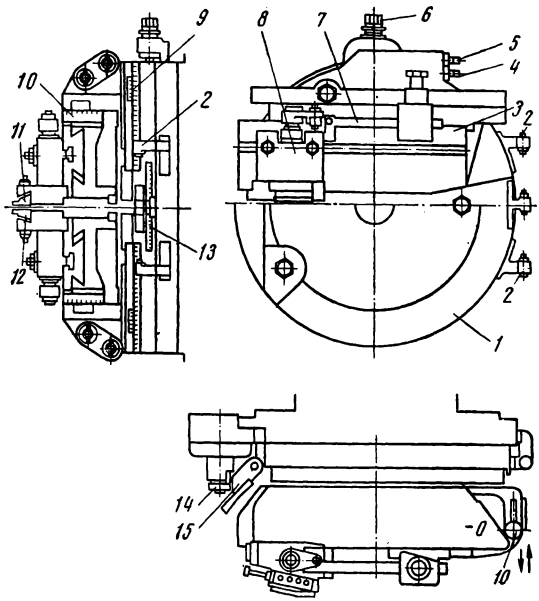


Рис. 182 Люлька станка «Гарбек» 15KHS

остановка люльки в конце обратного хода (но когда он еще не закончен), при этом заготовка продолжает вращаться, пока не произойдет деление на следующий зуб; после чего люлька опять вращается до конца обратного хода;

переключения вращения люльки и заготовки на рабочий ход и подвод резцов к заготовке, затем начинается следующий цикл работы.

Люлька имеет планшайбу *1*, которая может смещаться с оси вращения люльки при нарезании косозубых колес.

Нарезание прямозубых колес. Для прямозубых колес планшайбу устанавливают в нулевое положение — по центру станка.

Формулы для расчета наладки при нарезании прямозубых колес.

Сменные зубчатые колеса для получения числа двойных ходов рассчитывают по формуле $x_0 = \frac{a_0}{b_0} = \frac{n}{186{,}5}$, где n — число двойных ходов в минуту.

Величина подачи меняется при помощи съемных зубчатых колес, устанавливаемых попарно. Кроме того, величина подачи может изменяться при помощи пятиступенчатого и двухступенчатого блоков в механизме станка. При одной и той же паре сменных колес переключение блоков *14* и *15* может дать десять разных величин подач (см. рис. 181).

Сменные зубчатые колеса гитары деления определяют по формуле

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{80}{kz}.$$

При нарезании колес с числом зубьев $z > 40$ переключатель механизма деления *16* устанавливают на число $k = 1$, и формула принимает вид

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{80}{z}.$$

При $z \leqslant 40$ переключатель *16* устанавливают на $k = 2$ и

$$x_л = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{40}{z}.$$

Для деления на два зуба при черновом нарезании сменные колеса не меняют, а переключатель *16* переставляют с целью увеличения числа k в два раза.

Сменные зубчатые колеса гитары обкатки рассчитывают в зависимости от числа зубьев производящего колеса, которое для данного станка определяется по более точной формуле:

$$z_c = z \frac{\cos \gamma}{\sin \varphi},$$

где φ — угол начального конуса, а γ — угол ножки зубьев нарезаемого колеса. Последний угол может быть не одинаковой величины для сопрягаемых колес нарезаемой пары, вследствие этого число зубьев производящего колеса не одинаково при нарезании одного и другого колеса.

Формулы расчета сменных зубчатых колес гитары обкатки:

$$x_{об_1} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{80 \sin \varphi_1}{kz_1 \cos \varphi_1},$$

$$x_{об_2} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{80 \sin \varphi_2}{kz_2 \cos \gamma_2},$$

где k — число, принятое в формуле расчета сменных колес гитары деления.

Для ортогональных несмещенных передач, у которых $\gamma_1 = \gamma_2$ и $\varphi_1 = 90° - \varphi_2$ формулы и для одного и для другого колеса одинаковы.

Поворотные сегменты *3* люльки (см. рис. 182) устанавливают на угол сужения зубьев винтом *5*, а отсчет угла производится по шкале *9*. Величина угла установки определяется по формуле

$$\omega = \frac{28{,}648(s + 2h'' \operatorname{tg} \alpha_0)}{L_e \cos \gamma}.$$

Нарезание косозубых колес. При нарезании косозубых колес выполняется особая наладка станка: планшайба *1* винтом *6* (рис. 182) смещается с оси вращения люльки перпендикулярно оси симметрии ползуна. На планшайбе установлены ползуны *3*, резцедержатели *8* и резцы *11*. При нарезании зубьев с правым наклоном зубьев планшайба смещается вверх, при нарезании с левым наклоном зубьев — вниз. Смещение отсчитывается по шкале *13* планшайбы с точностью до 0,1 *мм* или более точно с помощью мерных плиток, закладываемых между одним из подвижных упоров *2* и неподвижным средним упором. Величина смещения планшайбы определяется по формуле

$$E = \frac{L \sin \beta}{\cos \omega} \text{ или } E = \frac{e}{\cos \omega},$$

где e — эксцентриситет зубьев нарезаемого колеса; L — длина образующей начального конуса от середины длины зуба до вершины; β — угол наклона зубьев по середине его длины; ω — половина угла сужения зуба по делительной окружности несмещенных зубьев, выражаемая по формуле

$$\omega = \frac{45 m_n}{L_e};$$

m_n — модуль у большого торца.

Затем поворачивают сегменты *3* на угол сужения винтом *5* с отсчетом по шкале *9*; угол установки сегментов находят по формулам:

для наружного сегмента, расположенного дальше от горизонтальной оси люльки (н — наружный) $\omega_н = \omega + \delta_н$;

для внутреннего сегмента, расположенного ближе к горизонтальной оси люльки (в — внутренний) $\omega_в = \omega + \delta_в$.

Дополнительные углы $\delta_н$ и $\delta_в$, входящие в эти формулы, находят в свою очередь, по формулам:

$$\operatorname{tg} \delta_н = \frac{h'' \operatorname{tg} \alpha_0}{\sqrt{L_e^2 - (e + h'' \operatorname{tg} \alpha_0)^2}}; \quad \operatorname{tg} \delta_в = \frac{h'' \operatorname{tg} \alpha_0}{\sqrt{L_e^2 - (e - h'' \operatorname{tg} \alpha_0)^2}}.$$

Оба ползуна с резцами поворачивают в горизонтальной плоскости вокруг оси *O* на угол ножки нарезаемого колеса. Поворот производится винтом *4*, отсчет по шкале *10*. Величина угла поворота определяется по формулам:

$$\operatorname{tg} \lambda_н = \frac{\sin \delta_н}{\operatorname{tg} \alpha_0}, \quad \operatorname{tg} \lambda_в = \frac{\sin \delta_в}{\operatorname{tg} \alpha_0}.$$

Затем смещают резцы по длине от нормального положения: наружный резец на величину $C_н = E \operatorname{tg} \omega \cos \delta_н \sin \lambda_н$, внутренний резец на величину $C_в = E \operatorname{tg} \omega \cos \delta_в \sin \lambda_в$.

Смещение осуществляется подкладкой щупов. Для наружного резца щуп, равный величине смещения, закладывается между держателем и калибром; для внутреннего — между острием резца и плоскостью калибра.

Смещение резцов по высоте от центра оси люльки осуществляется за счет изменения подкладок *12*, применяемых при нарезании прямозубых колес. Для наружного резца прокладка берется тоньше нормальной на величину $a_н$, а для внутреннего толще на величину $a_в$. Величины изменения толщин прокладок определяются по формулам:

$$a_н = E \operatorname{tg} \omega \sin \delta_н; \quad a_в = E \operatorname{tg} \omega \sin \delta_в.$$

Сменные зубчатые колеса гитары обкатки находят по формуле

$$x_{об} = \frac{80 \sin \varphi}{kz}.$$

Формула расчета для обоих колес одинакова.

Сменные зубчатые колеса гитары деления рассчитывают по тем же формулам, что и для прямозубых колес.

Стол бабки изделия с заготовкой устанавливают на угол φ делительного конуса нарезаемого колеса.

В процессе нарезания перемещение бабки вместе с нарезаемым колесом в направлении к люльке не допускается. Углубление зубьев после каждого прохода, если нарезание производится за несколько проходов, совершается только при помощи углового поворота поворотного стола вокруг вертикальной оси. Чистовое нарезание выполняется при угле установки, равном углу делительного конуса нарезаемого колеса.

§ 62. НАРЕЗАНИЕ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС ДВУМЯ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ

Кроме строгания резцами с обкаткой, прямозубые конические колеса нарезают двумя дисковыми фрезами со вставными резцами (рис. 183, *а*) также по методу обкатки. Профиль режущей кромки резцов прямолинейный, режущая кромка профиля направлена перпендикулярно к оси фрезы или расположена под углом δ к этому направлению (рис. 183, *б*). В первом случае зубья получаются конические прямолинейные, во втором — бочкообразные (рис. 183, *в*). Вторая, нерабочая, сторона профиля резца расположена относительно рабочей под углом, близким к углу зацепления, но не обязательно равным ему.

При нарезании зубьев дисковыми фрезами со вставными резцами выполняются следующие движения (рис. 183, *г*): вращение v дисковых фрез вокруг своих осей; возвратно-вращательное движение (качание) $v_л$ люльки вместе с установленными на ней фрезами, согласованное с вращением заготовки; вращение $v_з$ заготовки в одном направле-

нии, при рабочем ходе люльки осуществляется обкатка; при обратном холостом ходе люльки заготовка поворачивается в неизменном направлении на несколько зубьев, пропускаемых при делении; возвратно-поступательное перемещение s_t заготовки для подвода ее к люльке в положение начала обкатки и для обратного отвода.

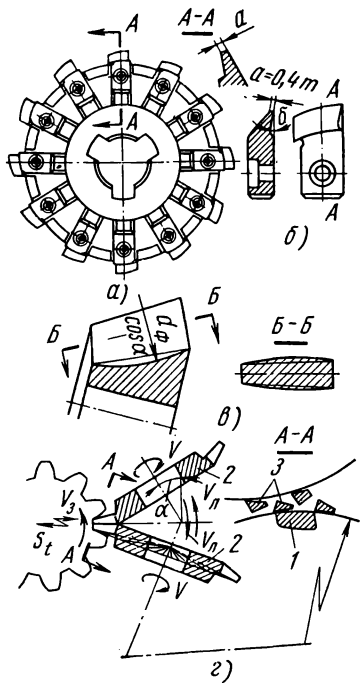


Рис. 183. Нарезание конических прямозубых колес двумя дисковыми фрезами по методу обкатки:

а — дисковая фреза со вставными резцами, *б* — резец фрезы, *в* — бочкообразная форма нарезаемых зубьев, *г* — установка фрез относительно нарезаемого колеса; *1* — зуб нарезаемого колеса, *2* — дисковые фрезы, *3* — расположение резцов фрезы во впадине зубьев колеса

В результате этих движений профиль нарезаемых зубьев обкатывается по прямому профилю резцов фрезы и получается эвольвентным, как и при строгании резцами.

Оси шпинделей фрез при нарезании прямолинейных зубьев в продольном направлении устанавливаются под углом зацепления α перпендикулярно к линии, проходящей через центр люльки, симметрично расположению фрез (см. рис. 183, *г*), при строгании бочкообразных зубьев этот угол равен $\alpha+\delta$, где δ — угол направления кромки резца фрезы при заточке.

Обе фрезы прорезают одну впадину одновременно. Шпиндели их получают вращение от центрального вала люльки с одинаковыми числами оборотов в разные стороны. Фрезы устанавливают на шпинделях так, чтобы резцы одной из них попадали в промежутки между резцами другой и не задевали друг друга при вращении (рис. 183, *г*, сечение *А—А*).

Так как фрезы в процессе нарезания не перемещаются вдоль длины зубьев, то дно впадины в продольном направлении образуется по дуге окружности, зависящей от диаметра фрезы, что не влияет на качество нарезаемых зубьев.

Нарезание конических колес двумя дисковыми фрезами выполняется на станке 5П23. Механизм станка (рис. 184) в принципе аналогичен механизму станка 528 для нарезания конических колес с круговыми зубьями. Отличается лишь устройство люльки. Шпиндели фрез вращаются с одинаковыми числами оборотов от центрального вала люльки через зубчатые передачи. В передаче на одном из шпинделей имеется паразитное зубчатое колесо, изменяющее направление его вращения относительно другого. В зависимости от угла продольного су-

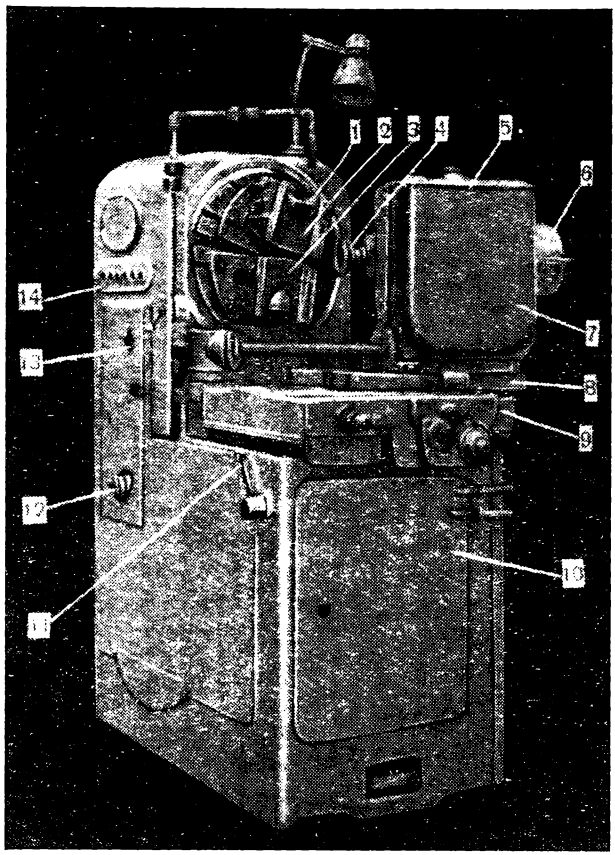


Рис. 184. Общий вид зубофрезерного станка для нарезания прямозубых конических колес двумя дисковыми фрезами методом обкатки:

1 — обкатная люлька, *2* — верхний фрезерный суппорт, *3* — нижний фрезерный суппорт, *4* — нарезаемое зубчатое колесо, *5* — бабка изделия, *6* — гидравлический зажимной патрон, *7* — дверца, за которой находятся сменные зубчатые колеса деления, *8* — поворотный стол, *9* — продольный стол, *10* — дверца, за которой находится механизм перемещения продольного стола, *11* — рукоятка подвода и отвода стола и зажима заготовки, *12* — счетчик числа нарезаемых зубьев, *13* — отверстие, против которого находится ведомый валик гитары обкатки, *14* — кнопочная станция

жения нарезаемой впадины сегменты люльки с закрепленными на них суппортами фрез устанавливают друг относительно друга под углом, определяемым по формуле

$$\omega_ф = \frac{57,3(T - 2h'' \operatorname{tg} \alpha_0)}{L_e},$$

где T — ширина нарезаемой впадины по дуге делительной окружности у большого торца; h'' — высота ножки зуба; α_0 — угол зацепления; L_e — длина образующей начального конуса от большого торца.

Возвратно-вращательное движение люльки вместе с закрепленными на ней суппортами и фрезами и вращение заготовки в процессе обкатки и во время поворота заготовки на пропускаемое число q зубьев происходят так же, как и на станке 528.

Подача стола в момент начала обкатки осуществляется механизмом барабана подач. Подвод и отвод стола для съема и установки очередной заготовки производится гидросистемой при повороте рукоятки *11*.

§ 63. НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС ПРОФИЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ И ПО КОПИРУ

Нарезание зубьев профильной дисковой фрезой

Как происходит нарезание зубьев профильной дисковой фрезой, можно проследить по рис. 185. Обрабатываемое колесо в процессе нарезания не вращается. Фреза вращается вокруг своей оси и подача осуществляется движением фрезы вдоль линии основания ножки зуба заго-

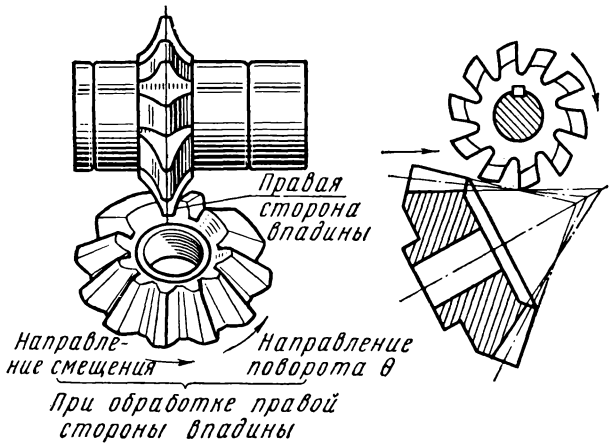


Рис. 185. Нарезание конических прямозубых колес профильной дисковой фрезой

товки. После окончания фрезерования одной впадины фреза быстрым перемещением возвращается в исходное положение, а заготовка поворачивается на один зуб для фрезерования следующей впадины. По этому принципу работает станок модели ЕЗ-1.

Таким методом можно выполнять только черновое прорезание впадин, поэтому дисковые фрезы проектируются с приближенным профилем.

При пониженных требованиях к точности нарезаемых колес профильными фрезами можно производить и окончательное нарезание. В этом случае профиль дисковой фрезы изготовляется эвольвентным по среднему модулю зубьев колеса. Нарезание выполняется в три про-

хода: черновой и два чистовых — по одному для каждой стороны зуба. При каждом проходе прорезаются все зубья. При черновом проходе фреза устанавливается по центру впадины. Перед каждым чистовым проходом ось заготовки смещается относительно оси симметрии профиля зубьев фрезы в соответствующую сторону для ее обработки.

Нарезание зубьев круговой протяжкой

Конические прямозубые колеса можно нарезать по принципу протягивания круговой протяжкой, изображенной на рис. 186. В процессе нарезания одной впадины заготовка остается неподвижной, а протяжка вращается вокруг своей оси и перемещается поступательно в направлении, приблизительно совпадающим с линией основания ножки зуба, на величину s, зависящую от длины нарезаемого зуба.

Протяжка вращается равномерно и за один оборот ее окончательно обрабатывается одна впадина. Когда против заготовки оказывается сектор протяжки без резцов, происходит поворот заготовки на один зуб для прорезания следующей впадины, а протяжка, не прекращая вращения, возвращается в исходное положение. После нарезания всех зубьев готовое колесо отодвигается от протяжки и устанавливается новая заготовка.

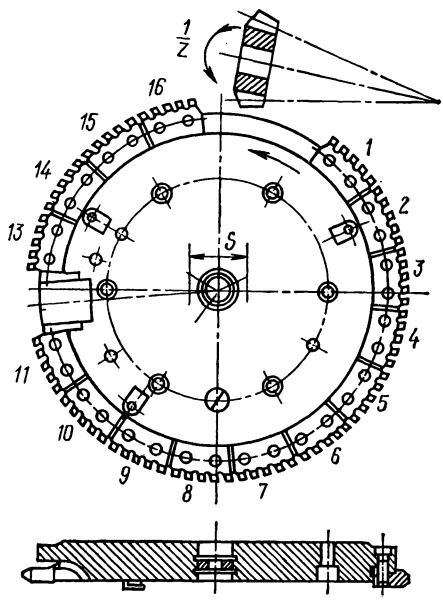


Рис. 186. Нарезание конических прямозубых колес круговой протяжкой

Протяжка состоит из 15 — 16 резцовых блоков, по 4 — 5 резцов в каждом. Первые 10 — 13 блоков черновые, а остальные чистовые. Черновые резцы, имеющие боковые и вершинные режущие кромки, вырезают впадину. Чистовые резцы выполняются разной ширины и имеют только боковые режущие кромки. Неодинаковая ширина резцов обеспечивает получение зуба, нормально суживающегося от большего торца к меньшему.

Так как в процессе нарезания заготовка не вращается, то резцы должны иметь разные профили по окружности протяжки для образования зубьев соответствующего профиля.

Резцы блоков имеют вогнутый профиль и изготовление их с точным профилем затруднительно; поэтому зубья их профилируются прибли-

зительно по дугам окружности. На диске фрезы-протяжки между блоками *11* и *13* устанавливается приспособление с резцом для снятия фасок на зубьях у бо́льшего торца.

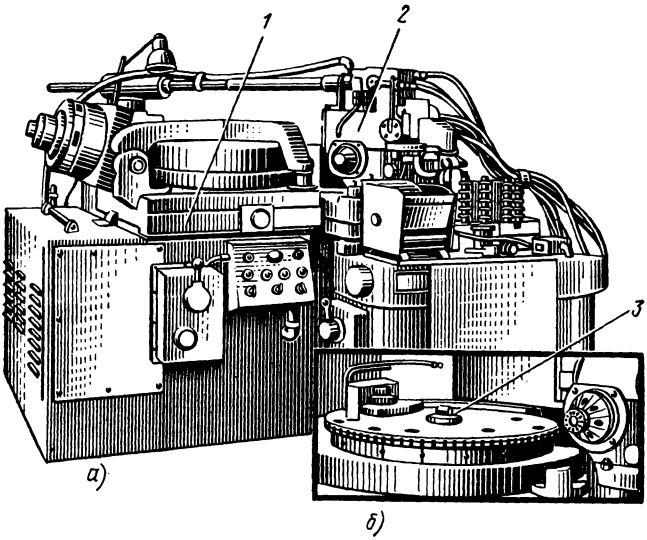


Рис. 187. Общий вид зубопротяжного станка 5245

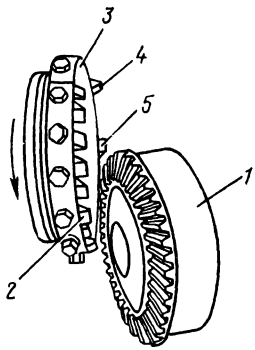


Рис. 188. Схема нарезания круговых зубьев головкой-протяжкой:

1 — колесо с круговыми зубьями, *2* — резцы предварительной обработки, *3* — резцовая головка-протяжка, *4* — внутренний калибрующий резец, *5* — наружный калибрующий резец

Данный способ является наиболее производительным из всех способов нарезания прямозубых конических колес.

На рис. 187, *а* показан внешний вид зубопротяжного станка 5245. На станке за цикл нарезания одной впадины выполняются следующие движения: вращение инструментального шпинделя *3* с протяжкой рис. 187, *б*; поступательное перемещение инструментальной каретки *1* вместе со шпинделем и протяжкой вдоль зуба при нарезании, возвращение ее в исходное положение после нарезания одной впадины; поворот изделия на один зуб при делении; подвод бабки *2* в рабочее положение в начале работы и отвод ее после нарезания всех зубьев при помощи гидроцилиндра.

Смена заготовки может выполняться при помощи автоматического загрузочного устройства.

Круговые зубья конических колес полуобкаточной пары нарезают также при помощи головки-протяжки

(рис. 188). На торцах головки-протяжки крепят резцы для предварительной нарезки (подобно средним резцам головки, рис. 100) и два калибрующих — наружный и внутренний. Часть головки не имеет резцов.

Профили резцов прямолинейные и нарезаемые круговые зубья имеют также прямолинейный профиль. За один оборот головки нарезается одна впадина между зубьями. Во время прохождения мимо заготовки участка головки, на котором не имеется зубьев, происходит поворот заготовки на следующее деление.

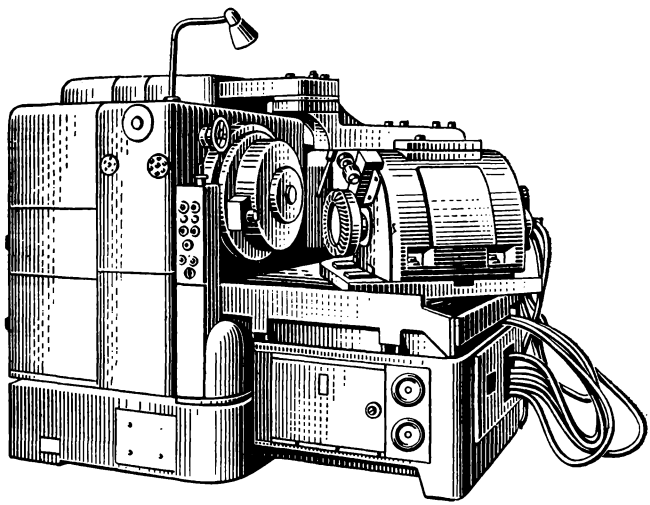


Рис. 189. Зубопротяжной станок для нарезания конических колес с круговыми зубьями модели 5Б232

На рис. 189 показан общий вид зубопротяжного станка 5Б232. На нем можно нарезать колеса диаметром до 500 *мм* и модулем до 10 *мм*. Потребляемая мощность 5 *квт*.

В процессе нарезания происходит вращение головки и после нарезания одной впадины — деление на один зуб.

Для установки головки в рабочее положение относительно нарезаемой заготовки станок имеет люльку и эксцентриковый барабан. Люлька не имеет качания, установка же на угол Q выполняется вручную. Радиальная установка оси резцовой головки осуществляется поворотом эксцентрикового барабана на угол ε эксцентрика. Углы Q и ε определяют, как и для станков, работающих с обкаткой. По окончании установки люлька и эксцентрик прочно закрепляются. Стол с бабкой и изделие на шпинделе после установки в рабочее положение зажимаются при помощи гидрозажимов. После нарезания бабку отводят и устанавливают новую заготовку.

Нарезание зубьев по копиру

Зубья строгают двумя резцами (рис. 190), совершающими попеременно возвратно-поступательные движения. Каждый резец обрабатывает без обкатки одну из сторон зуба, профиль резцов выполняется прямолинейным. По этому принципу работает станок 5283, имеющий такую характеристику: наибольший модуль нарезаемых колес 30 *мм*, наибольшая длина зуба колес 270 *мм*, наибольшее нарезаемое число зубьев 300 (наибольший диаметр обрабатываемого зубчатого колеса зависит от угла начального конуса).

На схеме, изображенной на рис. 190, показана работа одного резца, закрепленного в верхнем суппорте. Перед началом работы поворотный стол станка устанавливают под углом начального конуса колеса, а бабку изделия располагают в продольном направлении так, чтобы вершина начального конуса колеса лежала на вертикальной прямой *А—А*, вокруг которой поворачивается поворотный стол (стол и бабка на схеме не показаны). Бабка остается неподвижной, пока не будут нарезаны все зубья колеса. В процессе нарезания каждого зуба *7* резцовая головка *3* поворачивается вместе со столом в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси *А—А* и подается к заготовке.

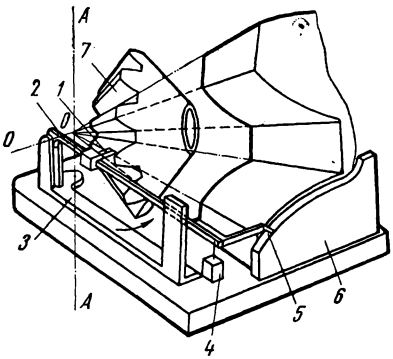


Рис. 190. Схема строгания прямозубых конических колес по копиру

Суппорт *1* вместе с резцом установлен на направляющей *2* и совершает по ней возвратно-поступательное движение. Одновременно с этим направляющая поворачивается вокруг горизонтальной оси *О—О*. Точка *О* — вершина начального конуса заготовки на прямой *А—А*.

С направляющей *2* связан ролик *5*, прижимаемый к копиру *6* грузом *4*. При повороте резцовой головки вокруг оси *А—А* по направлению к заготовке ролик *5* будет перемещаться по копиру и поворачивать направляющую *2* вокруг оси *О—О*. В результате перемещения ролика резец формирует на зубе профиль, соответствующий профилю копира в масштабе, пропорциональном расстоянию резца от оси *О—О* в каждый момент его движения.

Вершина резца формирует профиль одной стороны нарезаемого зуба. Резец нижнего суппорта одновременно обрабатывает профиль другой стороны зуба. Поворот направляющей нижнего суппорта происходит под воздействием верхнего, вследствие чего обе направляющие сообщают резцам перемещения, симметричные толщинам нарезаемых зубьев.

После обработки очередного зуба резцовая головка отводится от заготовки, а шпиндель с заготовкой поворачивается для обработки следующего зуба.

ГЛАВА XV

СТАНКИ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 64. ШЕВИНГОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Шевинговальные станки делятся на два вида: с горизонтальным и вертикальным расположением оси шевингуемого колеса. Кроме того, станки подразделяются по способу подачи, как радиальной, так и продольной. Эти подачи могут осуществляться при помощи стола или при помощи шевера.

Устройство станка 5714 рассмотрено при изучении процесса шевингования. Кроме этого, имеются и более сложные станки с горизонтальным расположением оси шевингуемого колеса. Так, станок модели 5702А работает по автоматическому циклу и может обрабатывать колеса с диаметром до 320 *мм* и модулем до 6 *мм*.

На станке можно шевинговать зубчатые колеса с продольной, диагональной и тангенциальной подачей, а также колеса с бочкообразными зубьями. Шевер вращается от электродвигателя и является ведущим, а колесо ведомым. Радиальная подача осуществляется консолью со столом, а горизонтальная перемещением стола с шевингуемым колесом.

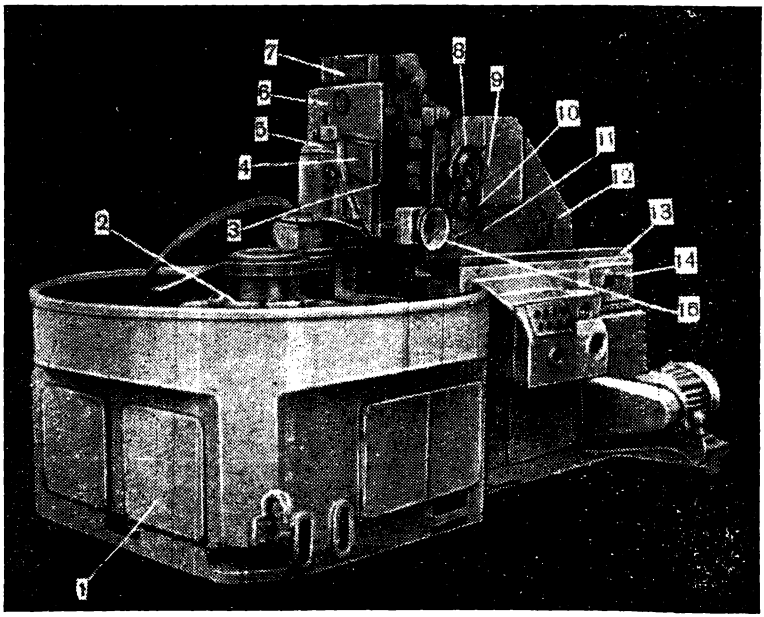


Рис. 191. Общий вид шевинговального станка 5717

На станке 5717 ось шевингуемого колеса устанавливается вертикально; продольная и вертикальная подачи осуществляются перемещением шевера. На станке шевингуются наружные колеса с большим числом зубьев, которые удобно закреплять на столе с вертикальной осью. На станке можно также шевинговать колеса с внутренними зубьями при замене шевинговальной головки специальной.

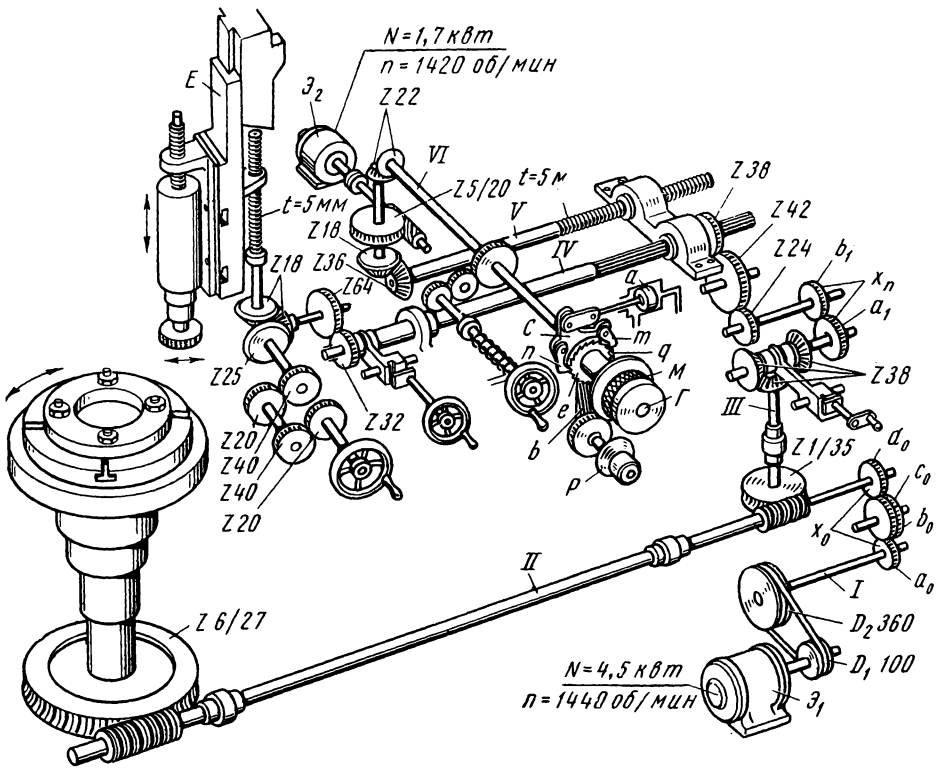


Рис. 192. Кинематическая схема шевинговального станка 5717

Общий вид станка приведен на рис. 191, а кинематическая схема — на рис. 192. На станине *1* установлен вращающийся стол *2*, на котором крепится шевингуемое колесо, вращающее шевер. Справа на станине закреплена плита *13*, имеющая в верхней плоскости горизонтальные продольные направляющие, по которым может перемещаться стойка *12*. На передней части стойки смонтировано основание *7*, которое может в небольших пределах поворачиваться вокруг горизонтальной оси в направлении к столу *2* для регулировки параллельности движения шевера относительно шевингуемого колеса. По вертикальным направляющим этого основания перемещается вверх и вниз суппорт, состоя-

щий из салазок *6*, поворотной плиты *4* и шевинговальной головки *5*. Плита *4*, на которой установлена шевинговальная головка, может поворачиваться в вертикальной плоскости, параллельной направляющим суппорта, и устанавливаться на угол скрещивания осей шевера и колеса с помощью квадрата *3*.

Процесс шевингования происходит следующим образом. Перед пуском станка шевер вводится в зацепление с обрабатываемым зубчатым колесом. После пуска станка колесо вращается и вращает шевер, осевая подача осуществляется перемещением суппорта с шевером вдоль оси колеса по направляющим основания *7*. Когда шевер выйдет за пределы половины ширины венца колеса, переключается электродвигатель, направление движения всего механизма станка меняется: изменяется направление вращения колеса, а с ним и шевера; изменяется направление перемещения суппорта с шевером вдоль оси колеса.

Радиальная подача для снятия припуска по профилю зубьев производится перемещением стойки с суппортом и шевером по горизонтальным направляющим плиты *13* в направлении к столу.

В момент изменения продольного перемещения суппорта вдоль оси колеса в верхнем и нижнем положениях происходит радиальная подача — перемещение шевера в глубину впадины зубьев колеса.

Вращение столу передается от электродвигателя $Э_1$ (см. рис. 192) с числом оборотов $n=1440$ в минуту через ременную передачу со шкивами D_1 и D_2, сменные зубчатые колеса коробки передач x и червячную передачу *6* : *27*. Передаточное отношение сменных колес определяется по формуле

$$x_0 = \frac{a_0 \cdot c_0}{b_0 \cdot d_0} = \frac{n}{88,8}.$$

Число n оборотов колеса выбирается в зависимости от его диаметра и материала обрабатываемой заготовки.

Направление вращения электродвигателя меняется при помощи упоров на салазках E суппорта, приводящих в действие переключатели при подходе шевера к одному и другому торцу колеса.

Перемещение суппорта с шевером вдоль оси колеса осуществляется ходовым винтом с шагом $t=5$ *мм*. Вращение винту передается от вала *II* через червячную передачу *1* : *35*, конические зубчатые колеса *38* : *38* : *38*, сменные зубчатые колеса подачи $x_п = \frac{a_1}{b_1}$, цилиндрические передачи *24* : *42* : *38*, вал *IV*, передачу *32* : *64* и коническую пару *18* : *18*. Последнее колесо этой пары закреплено на винте, который при вращении перемещает суппорт с помощью закрепленной в нем гайки.

Сменные зубчатые колеса подачи находят по формуле

$$x_п = \frac{a_1}{b_1} = \frac{s}{0,2},$$

где s — осевая подача шевера за один оборот колеса.

Конические колеса *38* : *38* : *38* обеспечивают необходимое сочетание вращения стола и перемещения суппорта, требующегося для встречного резания. Например, если при вращении стола по часовой стрелке суппорт двигался вверх, то после переключения колес начнет двигаться вниз при том же вращении стола. Изменение направления осевой подачи суппорта осуществляется рукояткой *14* (см. рис. 191).

Перемещение суппорта вдоль оси колеса вручную, необходимое при наладке станка, производится маховичком *15*. Вращение этого маховичка передается через цилиндрические передачи *20* : *40* (см. рис. 192) и *20* : *40* и коническую передачу *25* : *18* ходовому винту, перемещающему суппорт. При ручном перемещении суппорта механическая подача выключается разъединением пары зубчатых колес *32* : *64* рукояткой *11* (см. рис. 191).

Радиальная подача шевера происходит в конце каждого хода вверх и каждого хода вниз посредством храпового механизма. Движение механизму сообщается штоком *a* гидросистемы (см. рис. 192), работающей от отдельного электродвигателя, который включается и выключается кулачком, установленным на перемещающихся салазках *E* суппорта. При движении шток поворачивает серьгу *C* закрепленными на ней двумя собачками *m* и *n*, из которых одна работает при шевинговании колес с внешними зубьями, другая с внутренними. Серьга свободно вращается на валу. Храповик *e* насажен на валу также свободно и предохраняется от контакта с собачками полукольцевым щитком *q*, скрепленным с водилом *b*.

Вращение лимба *p*, устанавливающего величину радиальной подачи, можно перевести щиток при помощи водила в нейтральное положение, когда обе собачки не будут касаться храповика и радиальная подача выключается. Этим же лимбом можно установить щиток в такое положение, при котором будет только одна собачка захватывать один или несколько зубьев храповика, в зависимости от требуемой величины подачи. Храповик при помощи фрикционной муфты *M*, включаемой вращением гайки *Г*, соединяется с валом *VI*, и поворот храповика собачкой передается этому валу. Дальше через конические передачи *22* : *22* и *18* : *36* поворачивается винт *V* с шагом $t=5$ *мм*, который соединен со стойкой и при ввинчивании в неподвижную гайку перемещается вместе со стойкой к заготовке.

Величина радиальной подачи $s_р$, определяемая в миллиметрах на один ход шевера вдоль оси колеса, вычисляется по формуле $s_р=0{,}02\ K$, где *K* — число зубьев, захватываемых собачкой на храповике. Число зубьев *K* может быть 1, 2, 3, 4 и, соответственно, величина подачи составит 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 *мм*.

Для быстрого перемещения шевера в радиальном направлении надо включить отдельный электродвигатель $Э_2$ с числом оборотов $n=1420$ в минуту, нажав кнопку на пульте управления. При этом лимб *10* (см. рис. 191) должен находиться в положении, при котором одна и другая собачки выключены. Движение от электродвигателя передается через червячную передачу *5* : *20* (см. рис. 192) и конические зубчатые колеса *18* : *36* винту *V*, перемещающему стойку. Во избежание полом-

ки храпового механизма гайка *Г* должна быть отвернута так, чтобы храповик не вращался.

Отвод и подвод шевера к заготовке в радиальном направлении для установки величины припуска по лимбу *9* можно выполнять и вручную маховичком *8* (см. рис. 191). Вращение маховичка через цилиндрические зубчатые колеса передается валу *VI* (см. рис. 192) и дальше через передачи *22* : *22* и *18* : *36* винту *V*. При этом механическая подача от храповика и быстрая от электродвигателя должны быть выключены.

§ 65. ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

В зависимости от методов зубошлифования, рассмотренных в § 54, зубошлифовальные станки работают или по методу копирования или по методу обкатки.

Метод обкатки применяется для получения высокой степени точности и чистоты поверхности профиля зубьев колес, что является необходимым условием правильной работы многих механизмов, а потому ниже рассматриваются станки, работающие по этому методу.

Шлифование при обкатке может производиться тремя способами: одним шлифовальным кругом, имеющим профиль рейки, двумя тарельчатыми кругами и абразивным червяком.

Зубошлифовальный станок модели 5831, работающий по методу обкатки одним шлифовальным кругом

На зубошлифовальном станке 5831 шлифуют наружные прямые и косые зубья цилиндрических зубчатых колес.

Схема шлифования зубьев изображена на рис. 193. Шлифовальный круг быстро вращается вокруг своей оси и одновременно возвратно-поступательно перемещается вдоль зубьев шлифуемого колеса по стрелке *l*. При шлифовании прямых зубьев перемещение происходит параллельно оси колеса; при шлифовании косых — наклонно к оси колеса под углом β, равном углу наклона винтовой линии зубьев колеса.

Шлифуемому колесу сообщается медленное вращение в направлении по стрелке *v* и поступательное перемещение перпендикулярно оси его в направлении по стрелке *x*. Эти движения происходят в одну и другую стороны согласованно между собой, и они осуществляют обкатку профилей зубьев колеса по профилю шлифовального круга. При каждом движении колеса работает только одна боковая коническая поверхность круга и шлифуется только одна сторона профиля впадины; между кругом и второй стороной сохраняется зазор *s* (рис. 194).

При поступательном перемещении колеса вправо вращение происходит против часовой стрелки и шлифуется правая сторона впадины (если смотреть со стороны центра *O* колеса); при движении влево вращение происходит по часовой стрелке и шлифуется левая сторона впадины. Для поворота колеса с целью шлифования следующей впадины

ему сообщается дополнительное вращение, не сопровождающееся поступательным перемещением. Это дополнительное вращение осуществляет деление на один зуб.

Таким образом, станок имеет следующие движения: вращение шлифовального круга — главное движение; быстрое возвратно-поступательное перемещение круга; вращение с поступательным перемещением шлифуемого колеса перпендикулярно своей оси в одну и другую стороны — движения обкатки и дополнительный поворот — деление.

Общий вид зубошлифовального станка 5831 дан на рис. 195. К ста-

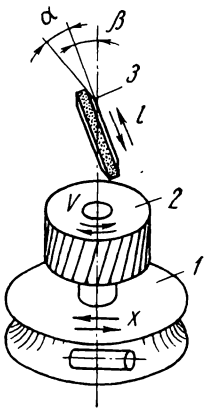


Рис. 193. Схема шлифования зубьев колес на зубошлифовальном станке 5831:

1 — стол станка, *2* — шлифуемое колесо, *3* — шлифовальный круг

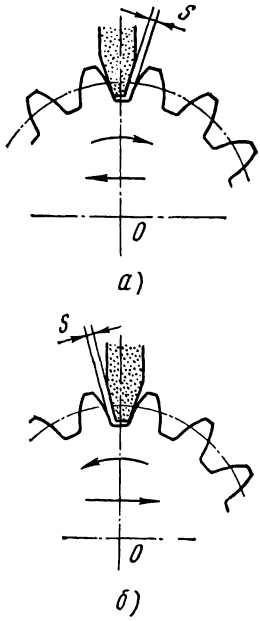


Рис. 194 Схема шлифования профилей впадины между зубьями:

а — стороны, расположенной к краю стола станка, *б* — стороны, расположенной к коробке механизма станка

нине *1* справа прикреплен корпус *8* коробки механизма движения столов станка. Сверху станины расположен продольный стол *3*, перемещающийся по продольным направляющим станины; на нем смонтирован круглый стол *2*, вращающийся в круговых направляющих продольного стола. В круглом столе имеется центровое отверстие, по которому центрируется приспособление для крепления шлифуемого колеса. На продольном столе закреплена стойка *4* с задней бабкой *5* для установки заднего центра. За продольным столом к станине жестко прикреплено основание люльки, являющееся второй частью станины. На люльке установлен корпус привода с колонкой *7*, которая может поворачиваться относительно корпуса и устанавливаться на угол наклона зубьев при шлифовании косозубых колес. По вертикальным

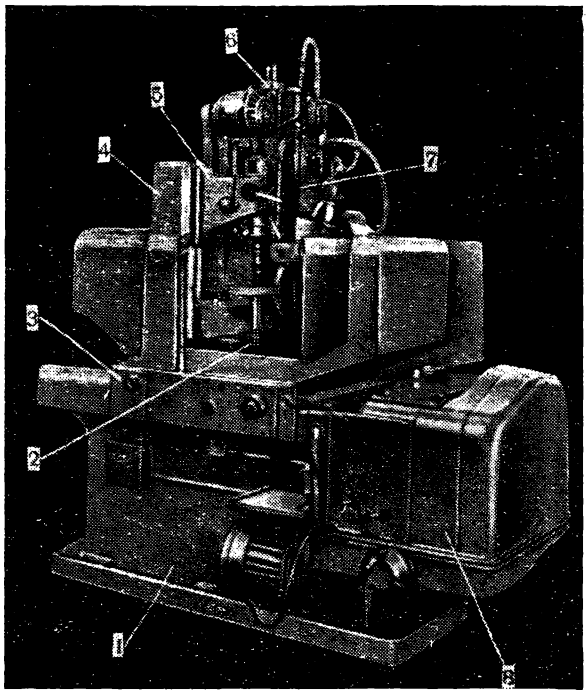


Рис 195. Общий вид зубошлифовального станка модели 5831

направляющим колонки перемещается ползун *6*, на котором находятся электродвигатель и шлифовальная головка со шлифовальным кругом. Люльку вместе с колонкой и корпусом привода можно поворачивать в вертикальной плоскости, перпендикулярной направляющим станины, по круговым направляющим основания люльки на угол до 6°30′.

Станок снабжен централизованной смазкой, осуществляемой двумя насосами. Один насос расположен в колонке и подает масло для смазки механизмов, сообщающих возвратно-поступательное движение ползуну. Второй насос расположен в корпусе коробки механизма движения столов станка и служит для смазки этих механизмов. Насосы приводятся в действие от электропривода станка. Смазка стола осуществляется от отдельного ручного привода.

Охлаждающая жидкость подается к шлифовальному кругу насосом, смонтированным вместе с отдельным электродвигателем, который подключается к электросети станка. При пуске станка включается автоматически и электронасос охлаждения. Подача жидкости регулируется краном на трубопроводе.

Кинематическая схема станка

Кинематическая схема станка приведена на рис. 196, а структурная — на рис. 197. Станок имеет три электродвигателя, от которых движение передается различным узлам станка, независимо друг от друга.

Электродвигатель $Э_1$ с числом оборотов 2800 в минуту сообщает вращение шлифовальному кругу.

Движение шлифовальной головки. Электродвигатель $Э_2$ с числом оборотов 720; 1420 или 2800 в минуту сообщает возвратно-поступательное движение шлифовальной головке. Электродвигатель через муфту сцепления вращает вал *XV*, от которого через передачи *29 : 68* или *22 : 75* вращение передается валу *XVI*. Переключение этих передач осуществляется перемещением блока *68—75* при помощи рукоятки P_1. Дальше вращение через передачу *28 : 120* передается кривошипному диску *D* и от него через салазки кривошипа с пальцем шатуну *L*, который при помощи верхнего пальца сообщает возвратно-поступательное движение ползуну *T* и закрепленной на нем шлифовальной головке. Салазки кривошипа можно перемещать по радиальному пазу диска при помощи винта m_1 и изменять этим величину хода шлифовальной головки. Возвратно-поступательное движение ползуна не зависит от движения шлифуемого колеса.

Движение обкатки и деления. Электродвигатель $Э_3$ с числом оборотов $n=1480$ в минуту сообщает все необходимые движения шлифуемому колесу.

Для осуществления обкатки станок имеет два движения: возвратно-поступательное перемещение продольного стола и вращение круглого стола.

Движение продольному столу передается от электродвигателя $Э_3$, согласно структурной схеме, через зубчатые передачи валу *IV* и от него коническим зубчатым колесам: *40* левой или *40* правой. Эти колеса насажены на валу *V* свободно и вращаются в разные стороны. Соединяются они с валом при помощи реверсивной муфты M_1. Переключение этой муфты в одну и другую сторону изменяет направление движения механизма обкатки. На валу *VII* имеется муфта M_2, регулирующая скорость механизма обкатки: при включении ее влево происходит быстрое движение холостого хода; при включении вправо — медленное движение подачи.

Рассмотрим по частям работу механизма за один цикл, т. е. за время шлифования одной впадины.

Подход боковой поверхности зуба к шлифовальному кругу на быстром ходу. Перед началом цикла продольный стол находится в крайнем (левом) положении; сторона зуба, подлежащая шлифовке, не соприкасается со шлифовальным кругом; реверсивная муфта M_1 сцеплена с левым коническим колесом *40*; кулачковая муфта M_2 смещена влево и находится в зацеплении с колесом *50*, закрепляя его таким образом на валу *VII*.

Движение от левого конического колеса *40*, согласно кинематической и структурной схемам, передается через муфту M_1, вал *V* и зубча-

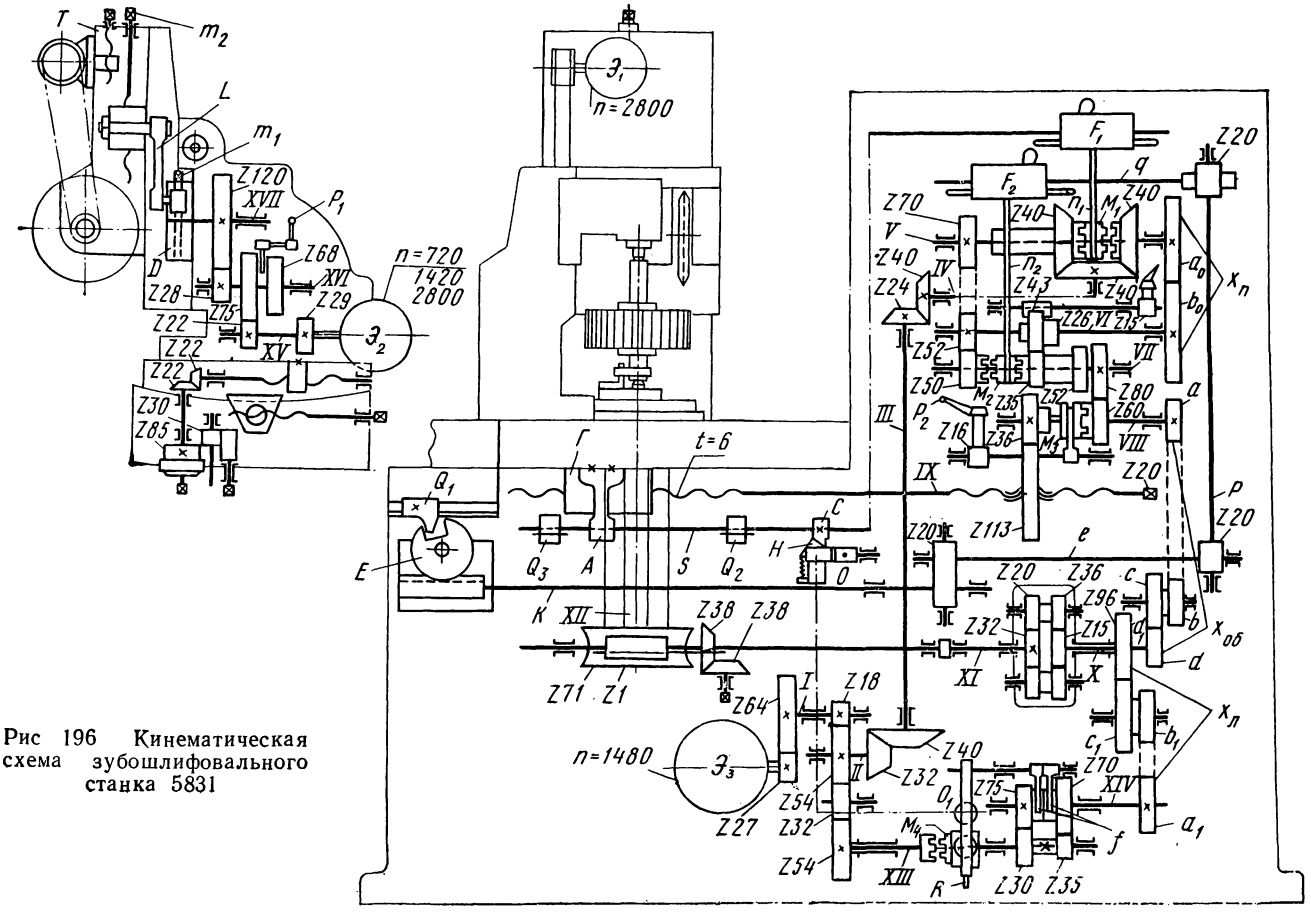


Рис 196 Кинематическая схема зубошлифовального станка 5831

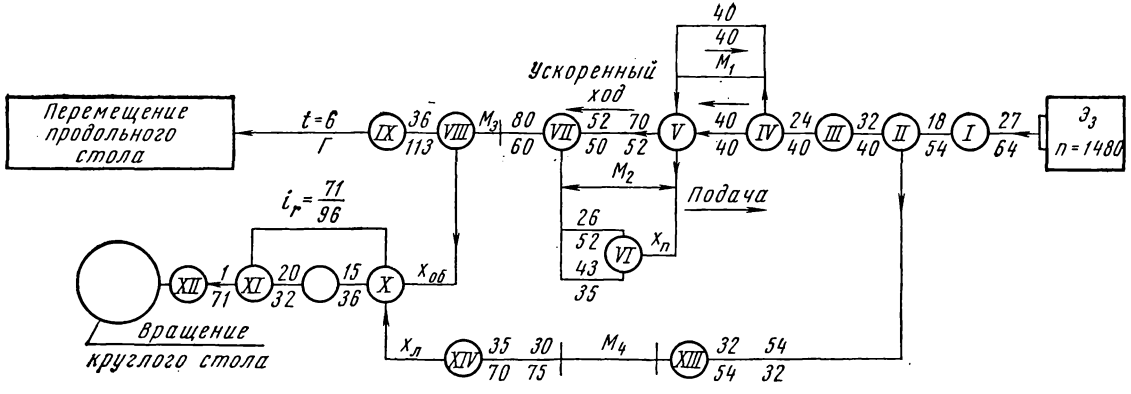


Рис. 197. Структурная схема зубошлифовального станка 5831

тые колеса *70* : *52* : *50* валу *VII*. На этом валу закреплено колесо *80*, вращающееся вместе с ним (остальные колеса на этом валу насажены свободно). Дальше движение передается через передачу *80* : *60* валу *VIII*, для чего муфта M_3 должна быть включена рукояткой P_2 с колесом *60*. От вала *VIII* вращение передается через передачу *36* : *113* винту *IX*, который при вращении ввинчивается в гайку *Г*, скрепленную со столом, и быстро перемещает стол вправо, в направлении к коробке механизма. Одновременно от вала *VIII* через сменные зубчатые колеса гитары обкатки $x_{об}$ движение передается колесу *15* дифференциала, который работает в данном случае как простой редуктор, поскольку корпус его неподвижен (корпус удерживается от вращения сменными колесами гитары деления, которые в это время стоят неподвижно). Через передачи дифференциала *15* : *36* и *20* : *32* вращение передается валу *XI* и червячной паре *1* : *71*. Червячное колесо этой пары жестко закреплено на шпинделе круглого стола и вращает его вместе со шлифуемым колесом. Таким образом, при поступательном перемещении продольного стола вправо одновременно с ним согласованно вращается против часовой стрелки круглый стол (см. рис. 194, *б*).

Шлифование одной стороны впадины (правой) на медленном ходу. При подходе стороны зуба колеса к шлифовальному кругу упор Q_1 (см. рис. 196) нажимает на правый выступ сектора *Е* и, благодаря зубчатому зацеплению его с рейкой тяги *К*, быстро перемещает эту тягу влево. Это перемещение через тяги *l*; *p*; *q* и три зубчатые колеса *20*, сцепленные с рейками на этих тягах, передается механизму F_2. Пружины этого механизма быстро поворачивают рычаг n_2 и перемещают муфту M_2 вправо для соединения с колесом *35*, при этом осуществляется медленное движение механизма обкатки. Таким образом, начинается шлифование одной стороны профиля впадины, расположенной со стороны коробки механизма (правой, см. рис. 194, *б*). В этом случае вращение от вала *V* (см. рис. 196), не меняя направления, передается через сменные колеса x_n подачи продольного стола валу *VI* и при помощи колес *26* : *52* или *43* : *35* валу *VII*.

Дальнейшая передача движения продольному и круглому столам происходит соответственно схемам. Так как передача движения происходит через сменные зубчатые колеса подачи, то уменьшая скорость вращения вала *VIII*, уменьшаем тем самым скорость перемещения продольного стола и, соответственно, скорость вращения круглого стола, не нарушая согласованности их движения. Рассчитывая сменные колеса подачи x_n, можно получить скорость перемещения стола в соответствии с величиной заданной минутной подачи, зависящей от величины хода ползуна и числа его ходов в минуту.

Шлифование второй стороны впадины (левой) на медленном ходу. При подходе продольного стола в крайнее правое положение кулачок *А* нажимает на упор Q_2 и сдвигает тягу *s* вправо. Эта тяга приводит в действие механизм реверса F_1, переключающий при помощи рычага n_1 реверсивную муфту M_1, которая входит в зацепление с правым коническим колесом *40*. При этом механизм обкатки начинает движе-

ние в противоположную сторону: продольный стол будет перемещаться влево, а круглый вращаться по часовой стрелке. Так начнется шлифование второй стороны профиля впадины (левой, см. рис. 194, *а*).

Переключение на быстрый ход. По окончании обработки левой стороны профиля стол продолжает двигаться влево, упор Q_1 (см. рис. 196) подходит к левому выступу сектора *E* и перемещает тягу *K* вправо (в сторону, противоположную движения упора Q_1). Тяга, как уже описано выше, воздействует на механизм переключения F_2 и муфта M_2 входит в зацепление с колесом *50* для осуществления быстрого движения.

Поворот колеса на один зуб (деление) на быстром ходу. При дальнейшем перемещении продольного стола влево кулачок *A* доходит до упора Q_3 и увлекает за собой тягу *s*. Кулачок *C*, закрепленный на этой тяге, нажимает на упор *H*, поворачивает его вокруг оси *O* и поднимает рычаг *R* (на схеме связь упора *H* и рычага *R* показана пунктирной линией). Этот рычаг поворачивается вокруг оси O_1, освобождает муфту M_4, которая удерживала этот рычаг, и одновременно поднимает фиксаторы *f*, выводя их из пазов стопорных дисков колес *75* и *70*. Под действием пружины муфта M_4 сдвигается влево, в направлении к колесу *54*, и входит с ним в зацепление. От колеса *54* вращение передается валику-шестерне *30—35* и дальше колесам *75* и *70*, из которых колесо *75* закреплено на валу *XIV* и вращает его, а колесо *70* вращается свободно. Тем временем кулачок *C* минует упор *H*, который перестает удерживать рычаг *R*. Последний займет первоначальное положение, оттолкнет муфту M_4 вправо, предотвращая сцепление ее с колесом *54*, и освободит фиксаторы *f*, которые западут в пазы дисков и заклинят вал *XIV*, препятствуя его вращению. Число зубьев передачи вращения от вала *XIII* к валу *XIV* подобрано так, что стопорные диски занимают положение, при котором фиксаторы *f* могут попасть в пазы только после четырех оборотов вала *XIV*. К этому времени муфта M_4 выйдет из зацепления с колесом *54* и передача вращения к валу *XIV* прекратится.

Четыре оборота вала *XIV* сообщают через сменные колеса гитары деления $x_л$ вращение зубчатому колесу *96* дифференциала, с которым это колесо скреплено, и корпусу его. Это вращение при помощи механизма дифференциала осуществляет дополнительное вращение вала *XI* (без продольного перемещения стола), которое суммируется с вращением, передаваемым по цепи обкатки, и передается червяку *1* и червячному колесу *71*, вращающему стол. Сменные колеса гитары деления рассчитывают в зависимости от числа зубьев колеса так, чтобы дополнительное вращение соответствовало повороту шлифуемого колеса на один зуб.

Изменение направления движения (реверсирование) на быстром ходу. Ко времени окончания деления кулачок А при помощи упора Q_3 переместит тягу *S* настолько, что под ее действием сработает механизм реверса F_1. Муфта M_1 входит в зацепление с левым коническим колесом *40*, продольный стол и круглый стол меняют направление движения,

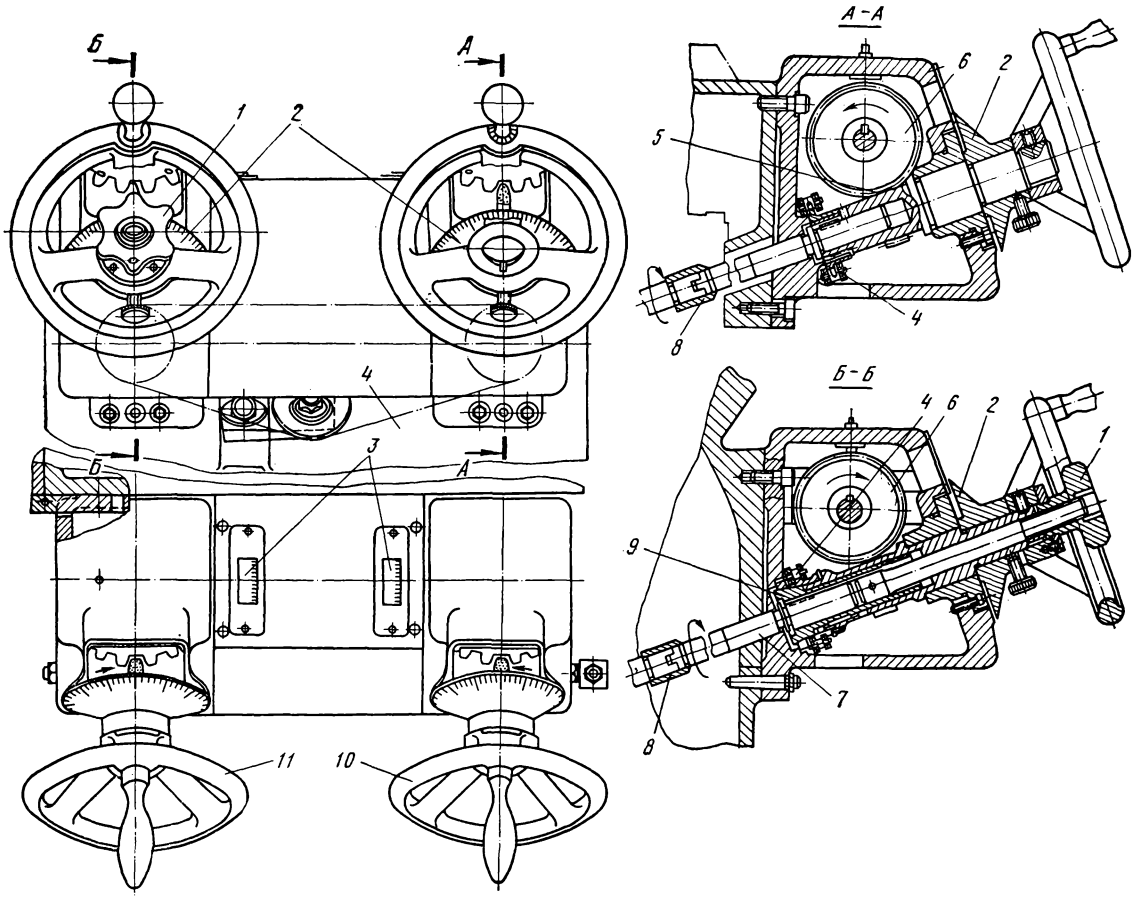


Рис. 198. Механизм управления окружной подачей

механизм реверса станет в первоначальное положение и цикл работы станка повторится. Подвод стороны шлифуемой впадины к кругу и деление осуществляются на быстром ходу, что сокращает время холостого хода.

Винт *IX* установлен в механизме станка так, что во время изменения направления движения продольного стола в крайних положениях, правом и левом, он перемещается в осевом направлении сам и ввинчивается в гайку *Г*, не перемещая продольного стола; круглый же стол продолжает вращаться. Процесс обкатки на короткое время прекращается. Вследствие поворачивания стола без обкатки впадина зубьев колеса перемещается относительно круга на величину *s* (см. рис. 194) и к кругу подходит другая сторона ее профиля. Величина этого перемещения регулируется маховичками *10* и *11* (рис. 198), которые при помощи валиков *7* и муфт *8* связаны с механизмом осевого перемещения винта *IX* (см. рис. 196). На схеме эта связь не показана. При вращении маховичков винт перемещается вдоль оси в соответствующую сторону, вследствие чего распределяется величина зазора между кругом и каждой стороной профиля впадины. На валиках *7* закреплены червяки *5* (см. рис. 198), соединяющиеся с червячными колесами *6*, на каждом ободе которых нанесены шкалы *3* с цифрами, показывающими величины смещения соответствующей стороны впадины относительно оси симметрии. Одно деление на шкале соответствует одному обороту маховичка.

Механизм управления окружной подачей. Величина перемещения профиля впадины к шлифуемому кругу после каждого шлифования зубьев по всему венцу называется окружной подачей. Величина подачи осуществляется вручную вращением тех же маховичков *10* и *11* (см. рис. 198), при помощи которых регулируются зазоры между кругом и сторонами впадины.

При вращении маховичков шлифуемый профиль придвигается к кругу на величину окружной подачи. Маховички соединены между собой роликовой цепью *4*; вращение одного маховичка вызывает вращение в ту же сторону другого, в результате чего одна сторона впадины приближается к шлифовальному кругу настолько же, насколько другая удаляется от него. Такое перемещение необходимо для равномерного шлифования одной и другой стороны впадины.

Левый маховичок можно разъединить с цепью поворотом против часовой стрелки грибка *1*, отпускающего цанговую муфту *9*. В этом случае возможна регулировка положения одной и другой стороны профиля впадины: каждую сторону вращением соответствующего маховичка можно приблизить или удалить от шлифовального круга.

Маховички снабжены лимбами *2*. Один поворот каждого лимба соответствует круговой подаче на 0,1 *мм*, а поворот на одно деление — на 0,001 *мм*.

Формулы расчета сменных колес.

Сменные колеса подачи $x_п = \frac{a_0}{b_0} = \frac{s_0 n}{127}$, где s_0 — подача на один ход,

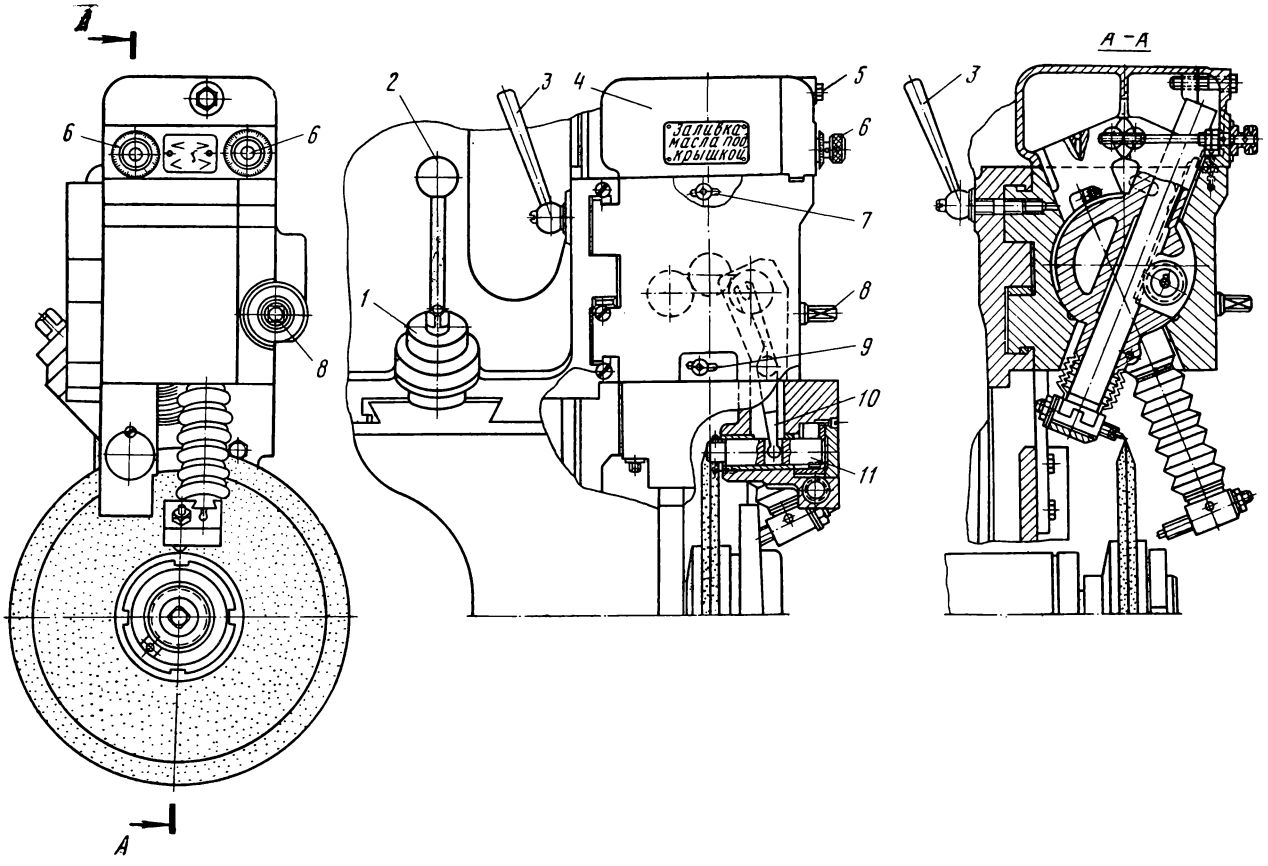


Рис 199. Механизм правки шлифовального круга

n — число двойных ходов в минуту:

гитары деления $x_л = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{24}{z}$;

гитары обкатки $x_{об} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{172,8}{D_к}$.

Передаточное отношение $x_{об}$ сменных колес гитары обкатки соответствует согласованному движению продольного стола и вращению круглого и рассчитывается, исходя из величины диаметра начальной окружности $D_к$ колеса, по которой происходит обкатка со шлифовальным кругом.

Механизм правки шлифовального круга. Перед началом шлифования каждой детали и перед окончательным проходом необходимо шлифовальный круг править алмазами. Для этого рукояткой *3* надо освободить от зажима каретку и поворотом рукоятки *2* приблизить шлифовальный круг к алмазам (рис. 199). При повороте рукоятки на один зуб храповика *1*, насаженного на ее валике, шлифовальный круг приблизится к алмазам на 0,03 *мм*. Затем следует затянуть зажим каретки рукояткой *3* и на квадрат *8* надеть кривошипную рукоятку. Поворачивая ее в одну и другую сторону, приводят в движение алмазы, осуществляющие правку боковых сторон конического профиля шлифовального круга.

По окружности круг правится перемещением скалки *11*, несущей алмаз. Скалка перемещается рычагом *10*, который приводится в действие квадратом *8*.

Регулировка механизма правки для корректировки угла профиля шлифовального круга. Для обеспечения правильного угла зацепления на шлифуемом колесе необходимо периодически проверять эвольвенты профилей зубьев или измерять основной шаг. При отклонении эвольвенты от теоретической на величину больше допустимой необходимо корректировать угол профиля шлифовального круга (см. рис. 62, *а*). Если эвольвента отклоняется в сторону от тела зуба (плюс), значит она располагается круче теоретической и, следовательно, угол шлифовального круга надо увеличить. Если эвольвента отклоняется в тело зуба (минус), значит она располагается положе и, следовательно, угол шлифовального круга надо уменьшить. Величина корректировки угла, в зависимости от отклонения эвольвенты, указывается в карте наладки или же определяется по формуле:

$$\alpha_0 = 20°;$$

при

$$\Delta\alpha = \frac{3,2}{m}\Delta t,$$

где $\Delta\alpha$ — поправка угла круга, *мин*; Δt — отклонение эвольвенты, *мк*; m — модуль шлифуемых зубьев колеса.

Корректируется угол круга следующим образом (см. рис. 199). Отвертывают винт *5*, снимают крышку *4* и ослабляют винты *7* и *9*

(винт 7 расположен под крышкой). Затем для изменения установки алмазов поворачивают грибки *6*. Для увеличения угла профиля круга надо грибки вращать по направлению друг к другу: левый по часовой стрелке, правый — против часовой стрелки; для уменьшения угла — наоборот. Один полный поворот грибка соответствует изменению угла установки алмаза на 48 *мин*; поворот на одно деление лимба грибка изменяет установку на 40 *сек*. По окончании регулировки необходимо вновь затянуть винты *7* и *9*, поставить на место крышку. После регулировки алмазов необходимо править круг тремя алмазами.

Зубошлифовальный станок, работающий по методу обкатки двумя шлифовальными кругами

Зубья колеса шлифуют двумя кругами тарельчатой формы с узкой рабочей полоской *f* на внутреннем торце (рис. 200). Оси шпинделей кругов наклонены под углом 15°, шлифовальные площадки составляют между собой угол 30°. Таким образом, определяют профиль шлифовальных кругов, соответствующий углу зацепления шлифуемых зубьев в 15°.

Шлифовальные круги одновременно шлифуют два разноименных профиля зубьев и величина развода их, установленная для данного колеса, определяет ширину получающейся впадины зубьев и, следовательно, должна быть все время постоянной. В процессе работы круги изнашиваются и их все время нужно регулировать, чтобы компенсировать износ (раздвигать на величину износа).

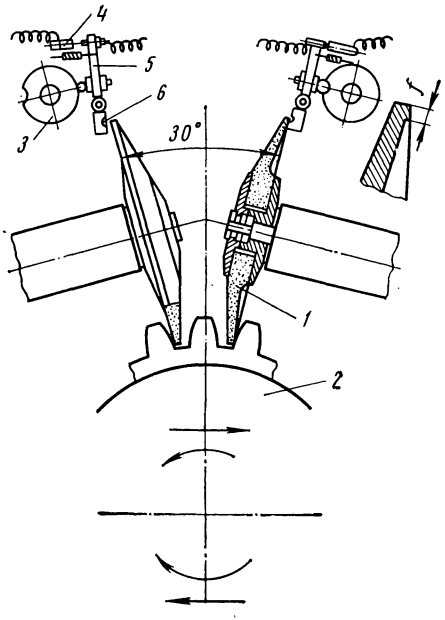


Рис. 200. Схема шлифования зубьев на зубошлифовальном станке «Мааг»

На станке имеется механизм, автоматически регулирующий расстановку кругов по ширине. Принцип работы механизма показан на рис. 200. Возле каждого круга *1* со стороны рабочего торца, т. е. со стороны шлифующей эвольвенту профиля зуба колеса *2*, расположен рычаг *5*, на одном конце которого закреплен контролирующий алмаз *6*, а на другом штифт, который может касаться контакта *4* электрической цепи. Между алмазом и кругом — небольшой зазор. Ролик рычага *5* все время прижимается пружиной к постоянно вращающемуся диску *3* и катится по нему. Диск имеет выемку, в которую попадает

ролик. Когда ролик перемещается по окружности диска, алмаз не касается шлифовального круга (левый круг). Когда же ролик попадает во впадину диска (правый круг), рычаг поворачивается, но раньше, чем ролик зайдет на всю глубину выемки, алмаз коснется шлифовального круга, штифт на другом конце рычага не дойдет до контакта *4*, и электрическая цепь не замкнется: вследствие этого механизм не выключается, и круг не будет перемещаться.

Если круг имеет износ больше допускаемой величины, то при повороте рычага (когда ролик попадает во впадину диска) алмаз не встретит шлифовального круга. В этом случае второй (верхний) конец рычага коснется штифтом контакта *4* и замкнет электрическую цепь: механизм придет в действие и переместит шпиндель с шлифовальным кругом на небольшую величину, что вызовет увеличение развода кругов. При выходе ролика из выемки штифт отходит от контакта, электрическая цепь разъединяется и механизм выключается. Через один оборот диска ролик снова попадет в выемку и, если алмаз снова не коснется круга, механизм опять включится и переместит шлифовальный круг. Таким образом, круг будет перемещаться до тех пор, пока алмаз не начнет касаться круга, т. е. пока расстояние между кругами не достигнет необходимой ширины. Диск *3* делает один оборот за 5—6 *сек*, и износ кругов контролируется через каждые 5—6 *сек*. Чувствительность механизма, т. е. наименьшее перемещение круга составляет 0,001 *мм*.

Шлифуемое колесо быстро поворачивается (качается) вокруг своей оси то в одну, то в другую сторону и одновременно ось его согласованно с качанием перемещается то вправо, то влево. Таким образом, происходит обкатка профиля зубьев. Кроме того, колесо медленно перемещается вдоль своей оси для шлифования зубьев по всей длине. Когда круги пройдут вдоль всей длины зубьев, колесо поворачивается на один зуб, происходит деление и круги входят в следующие впадины.

Таким образом, станок имеет следующие движения: вращение шлифовальных кругов — главное движение; согласованное вращение колеса и перемещение его перпендикулярно оси — движения обкатки; поступательное перемещение колеса вдоль оси — движение подачи и периодический поворот колеса на один зуб — деление.

На рис. 201 показан общий вид станка. На станине *1* с правой стороны закреплена стойка *15*, на которой установлена траверса *13*, перемещающаяся вверх и вниз при помощи маховичка *12*. На траверсе находятся две шлифовальные головки *11* со шлифовальными кругами и электродвигателями, вращающими шпиндели кругов; каждый шпиндель имеет отдельный электродвигатель. Шлифовальные головки могут перемещаться относительно траверсы вертикально и горизонтально и поворачиваться на небольшой угол. В корпусе головки расположена гайка *14*, предназначенная для ручной подачи шлифовальных кругов к алмазам.

С левой стороны на станине расположен продольный стол *7*, перемещающийся по направляющим станины. Под столом находится ру-

коятка *6* переключения на черновое и чистовое шлифование. На столе, на краю, закреплена неподвижная рама *9*, а ближе к шлифовальным кругам установлена каретка (поперечный стол) *2*. С кареткой соединена кулиса, сообщающая ей возвратно-поступательное движение в поперечном направлении к продольному столу. На каретке закреплены две бабки для установки шлифуемого колеса: передняя *10* с гитарой деления, делительным диском и центром и задняя *16* с задним

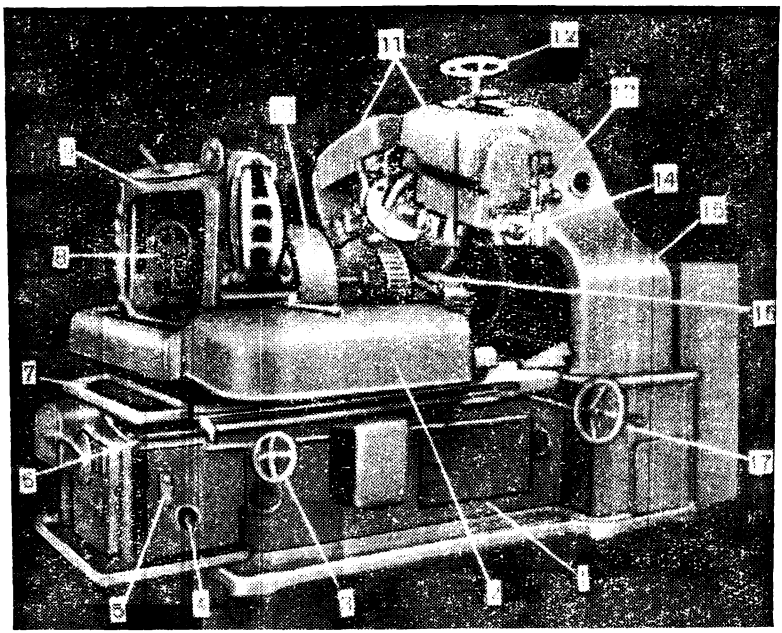


Рис. 201. Общий вид зубошлифовального станка «Мааг»

центром. На шпинделе передней бабки сзади насажен барабан *8*. Маховичок *17* служит для ручного перемещения продольного стола, а маховичок *3* для ручного поворота деления шпинделей передней бабки со шлифуемым колесом. Переключение деления и изменение скорости деления осуществляется рукоятками *4* и *5*. На некоторых станках можно шлифовать косозубые колеса. Для этого продольный стол у таких станков делается поворотным для установки на угол наклона зубьев косозубого колеса. На такой же угол поворачивается и стойка со шлифовальными головками.

Станок имеет централизованную смазку. Насос подает масло из маслосборника к местам смазки; некоторые трущиеся поверхности смазываются при помощи масленок и тавотниц. На станке имеется пылесос, отсасывающий пыль от шлифовальных кругов в пылесборник, расположенный сзади стойки.

Кинематическая схема станка

Кроме электродвигателей, установленных на шлифовальных головках, на станке имеется отдельный электродвигатель с числом оборотов $n=1500$ в минуту, передающий движение по кинематическим цепям станка в соответствии с кинематической схемой, приведенной на рис. 202.

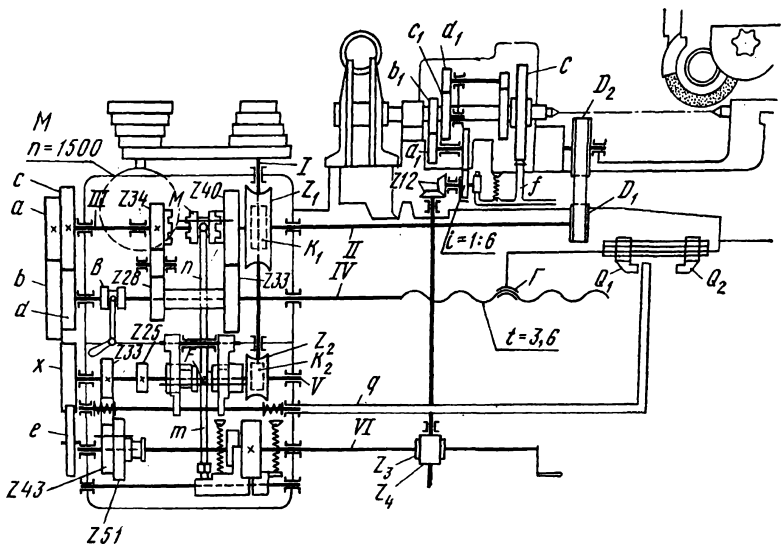


Рис. 202. Кинематическая схема зубошлифовального станка «Мааг»

Цепь I. Поперечное движение каретки и качание шлифуемого колеса. Электродвигатель через ступенчатые шкивы вращает вал *I*, от которого движение передается через червячную передачу K_1: z_1 валу *II*. На этом валу насажен шкив D_1, передающий вращение при помощи ремня шкиву D_2. На одном валу с этим шкивом насажен кривошипный диск *D* (рис. 203), в диаметральном пазу которого перемещается палец с роликом *1*. Ролик вставлен в раму *2* кулисы *3*, связанной с кареткой. При вращении диска ролик перемещает раму кулисы, а вместе с ней и каретку в поперечном направлении к продольному столу на двойную величину смещения

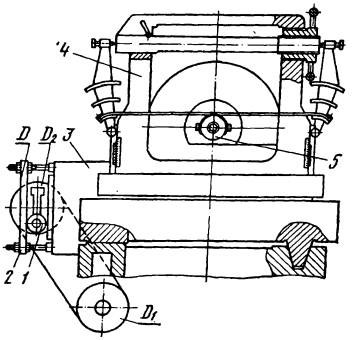


Рис. 203. Схема механизма обкатки

пальца от центра диска. Вместе с кареткой перемещаются закрепленные на шпинделе передней бабки шлифуемое колесо и обкаточный барабан *5*, к которому прикреплены две пары металлических лент; другие концы их соединены с одной и с другой стороной неподвижной задней рамы *4*. При передвижении каретки в поперечном направлении к продольному столу с ней вместе перемещается барабан и шлифуемое колесо, при этом одна пара лент сворачивается с барабана и заставляет его вращаться в одну сторону, другая пара лент в это время наворачивается на барабан. Когда каретка изменяет направление движения, с барабана сворачивается другая пара лент и заставляет его вращаться в противоположную сторону. Вместе с барабаном вращается и согласованно перемещается перпендикулярно оси шлифуемое колесо.

Цепь II — продольное перемещение стола (подача). Подача шлифуемого колеса вдоль его оси осуществляется перемещением продольного стола, который движется возвратно-поступательно и перемещает колесо под шлифовальными кругами по направлению к ним, пока они не выйдут за пределы длины зубьев, а затем назад.

Движение столу передается от вала *II* (см. рис. 202), а переключение направления перемещения осуществляется муфтой *M*, насаженной на этом валу на шпонке. При включении этой муфты влево валы *II* и *III* соединяются и представляют собой как бы продолжение один другого и одинаково вращаются. От вала *III* вращение передается через сменные колеса $a : b$ или $c : d$ винту *IV*. Колеса a и c закреплены на валу *III* неподвижно, а b и d могут поочередно закрепляться на винте *IV* выдвижной шпонкой, перемещаемой втулкой *B* при помощи рукоятки *6*, показанной на рис. 201.

При переключении муфты *M* (см. рис. 202) вправо с валом *II* соединяется через эту муфту колесо *40*, насаженное на валу *II* свободно, и вращение через зубчатую пару *40* : *33* передается втулке с колесами *33* и *28*. Дальше вращение передается через зубчатые колеса *28*, паразитное колесо и колесо *34* валу *III*. Благодаря наличию в этой передаче паразитного колеса вал *III* вращается в другую сторону, чем при включении муфты *M* влево. Через сменные колеса $a : b$ или $c : d$ вращение сообщается винту *IV*, как и при включении муфты *M* влево, но винт при этом будет вращаться в другую сторону. Винт ввинчивается в гайку *Г*, связанную с продольным столом, и перемещает стол вперед и назад.

Муфта *M* переключается при помощи штанги *n*, которая связана со втулкой *F*, свободно сидящей на валу *V*. Валу *V* сообщается вращение все время в одну сторону от вала *I* через червячную передачу $K_2 : z_2$ (червяк K_2 на валу *I*, червячное колесо z_2 на валу *V*). Втулка *F* перемещается по валу *V* под воздействием штанги *q*, которая получает перемещение в одну и другую сторону от упоров Q_1 и Q_2, устанавливаемых сбоку продольного стола. При движении стола вперед к шлифовальным кругам упор Q_1 толкает штангу *q* вправо. Под воздействием штанги механизм, установленный на валу *V*, перемещает втулку *F*

и переключает при помощи тяги *n* муфту *M*, стол изменяет направление движения. Упор Q_2 толкает штангу влево, втулка *F* и муфта *M* переключаются и стол опять меняет направление движения.

Цепь III — механизм деления. После прохода шлифуемого колеса под шлифовальными кругами на всю длину зубьев, круги выходят за пределы зубьев и происходит поворот колеса на один зуб — деление.

Механизм деления приводится в действие от вала *V*, на котором закреплены два зубчатых колеса *33* и *25*, входящие в зацепление соответственно с зубчатыми колесами передвижного блока *43* и *51*, насаженными на шпонке на валу *VI*. При переключении блока меняется скорость вращения этого вала и скорость выполнения деления. Управляется механизм деления при помощи штанги *m*, приводимой в действие той же втулкой *F*, которая переключает муфту *M*. В то время, когда заканчивается ход продольного стола и изменяется направление его перемещения, штанга *m* включает механизм деления, который устроен так, что после одного оборота вала *VI* он выключается и остается неподвижным до следующего переключения продольного стола.

Вращение вала *VI* передается через винтовые колеса z_3: z_4, конические колеса *12* : *12* и палец со звездочкой $i=1:6$ механизму передней бабки, в котором находятся сменные колеса гитары деления и делительный диск *C*. При вращении конических колес выводится из зацепления фиксатор *f* и диск поворачивает шлифуемое колесо на один зуб, после чего фиксатор опять защелкивает диск. Для того, чтобы при одном повороте вала *VI* шлифуемое колесо повернулось на один зуб, рассчитываются сменные колеса гитары деления по формуле

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{30}{z}.$$

Устройство для правки шлифовальных кругов. Перед началом шлифования каждого колеса шлифовальные круги правят тремя алмазами: двумя — профили, а одним — наружную окружность кругов.

Вращением винта *1* на алмазодержателе *3* (рис. 204) подводят алмаз до соприкосновения с профилем круга и вращением алмазодержателя ручкой *2* в одну и другую стороны производят правку профиля. При этом необходимо следить за тем, чтобы алмазодержатель не имел продольного зазора, так как при этом может получиться неровная поверхность круга. Таким же образом вторым алмазодержателем с алмазом правится профиль второго круга. После правки профиля необходимо вручную повернуть круглую гайку *14* (см. рис. 201) устройства автоматической регулировки в ту же сторону, в какую она вращается автоматически, до соприкосновения кругов с контрольными алмазами. Затем круги нужно отвести немного назад от алмазов, чтобы при дальнейшей работе они автоматически входили в соприкосновение с алмазами.

Для правки кругов по окружности на траверсе на круглой оправке закрепляется алмазодержатель *4* (см. рис. 204). При шлифовании

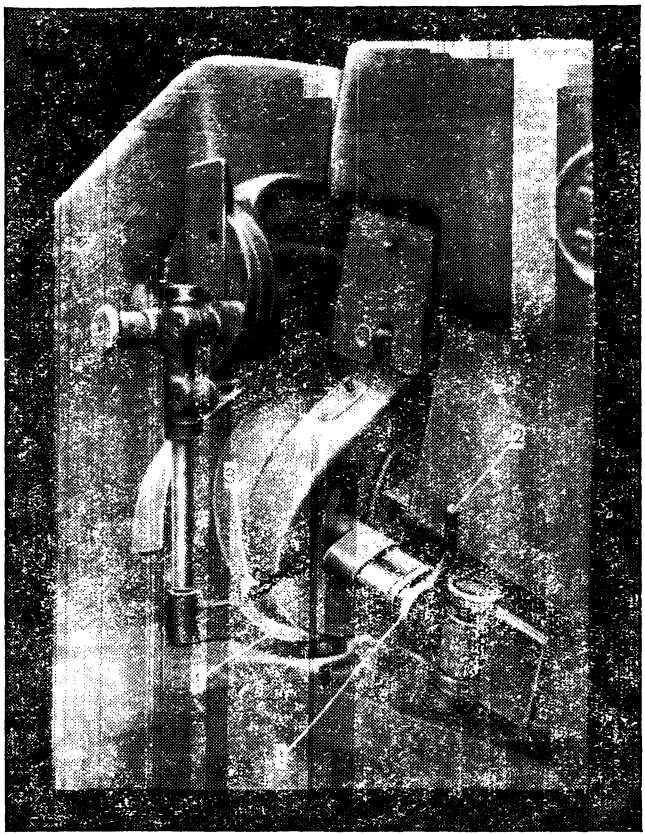


Рис. 204 Правка шлифовальных кругов алмазами

зубьев алмазодержатель отводится в сторону и приподымается вместе с оправкой. При правке кругов оправка опускается и вращается вокруг своей оси, а алмазодержатель подводит алмаз под оба шлифовальных круга и правит их одновременно. Если алмаз не касается кругов, то вращением маховичков на шлифовальных головках нужно опустить их с кругами до соприкосновения последних с алмазами.

Регулировка угла установки шлифовальных кругов. Профили шлифуемых зубьев должны периодически проверяться на эвольвентомере, и если они имеют отклонение от теоретической эвольвенты, то их необходимо корректировать, регулируя угол установки шлифовальных кругов. Величина поправки угла принимается в зависимости от величины отклонения эвольвенты по таблице карты наладки или рассчитывается по формуле для угла зацепления $\alpha_0 = 20°$; $\Delta\alpha = \frac{3,2}{m} \Delta t$, где Δt — измеренное отклонение эвольвенты в микронах; $\Delta\alpha$ — поправка угла в минутах. Направление поправки угла принимается такое же,

как и при регулировке алмазов на станке 5831. Угол установки для каждого круга корректируется отдельно. Для этого нужно отпустить три винта, зажимающие верхнюю плиту шлифовальной головки, и при помощи двух установочных винтов повернуть головку на необходимую величину поправки угла. Отсчет угла поворота производится по шкале на плите с нониусом. Для увеличения угла установки шлифовальная головка должна поворачиваться вниз, для уменьшения угла— вверх. После установки угла винты следует затянуть и проверить, находится ли середина контрольного алмаза на кромке круга, и при необходимости отрегулировать его установку. После регулировки круги обязательно правят.

Зубошлифовальный станок модели 5832, работающий по методу обкатки абразивным червяком

Зубчатые колеса шлифуют абразивным червяком, имеющим профиль витков трапецеидальной формы, как у червячной модульной фрезы, с углом наклона боковых сторон, равным углу зацепления. Абразивный червяк работает по методу обкатки при непрерывном делении, как и червячная фреза при зубонарезании.

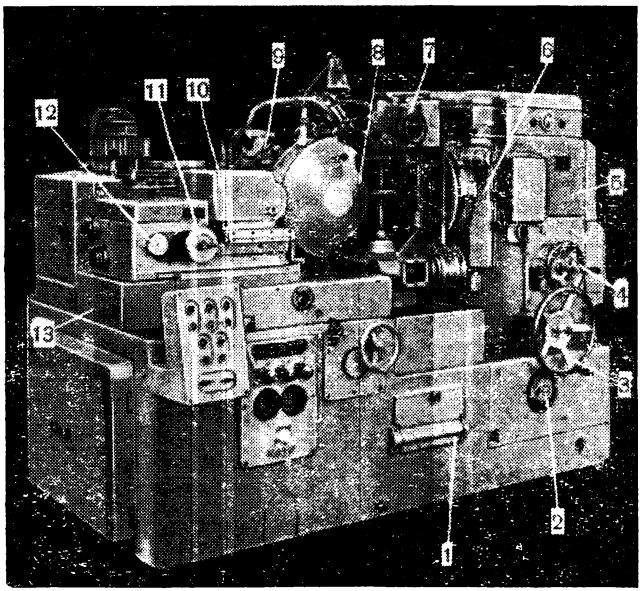


Рис 205 Общий вид зубошлифовального станка 5832

Станок предназначен для шлифования зубчатых колес с модулем от 0,2 до 2 и диаметром до 200 *мм*; зубья колес с модулем до 0,8 шлифуются без предварительной нарезки.

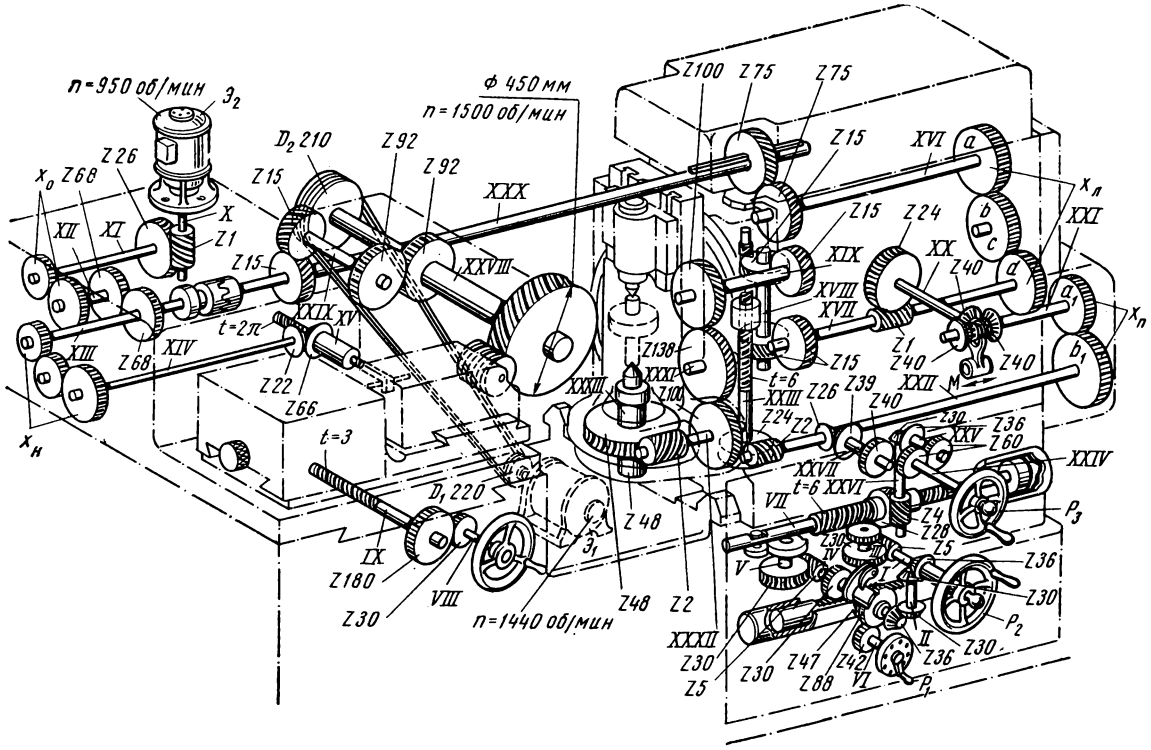


Рис. 206. Кинематическая схема зубошлифовального станка 5832

Общий вид станка изображен на рис. 205, кинематическая схема — на рис. 206, а структурная — на рис. 207.

На станине *1* (рис. 205) с правой стороны установлена стойка *5*, перемещающаяся вдоль станины. Величины автоматической подачи стойки устанавливаются рукояткой *2*, а ручная подача осуществляется маховичком *3*. По вертикальным направляющим стойки перемещается вверх и вниз суппорт *6* с головкой *7*, в которой устанавливается шли-

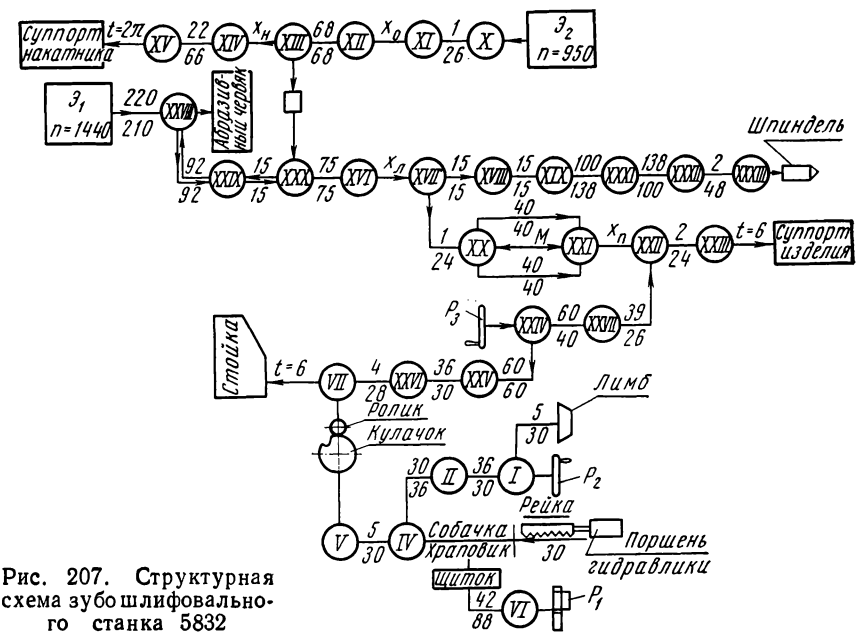


Рис. 207. Структурная схема зубошлифовального станка 5832

фуемое колесо. Перемещение стойки и суппорта изделия осуществляется маховичком *4*. С левой стороны станины имеется шлифовальная бабка *13*, перемещающаяся поперек станины. На шлифовальной бабке закреплена шлифовальная головка *9* с абразивным червяком *8* и находится суппорт *10* с накатником. Суппорт перемещается по бабке вместе с накатником в направлении его оси и перпендикулярно к ней. Глубина врезания накатника в абразивный червяк устанавливается рукояткой *12*, а подвод механизма правки — маховичком *11*.

Зубья колеса шлифуют абразивным червяком, а витки на этом червяке накатывают закаленным накатником, имеющим кольцевую нарезку с профилем канавок, аналогичным профилю витков червяка.

В процессе зубошлифования выполняются следующие движения: 1) вращение абразивного червяка, осуществляемое по кинематической цепи, согласно структурной схеме, от электродвигателя $Э_1$ (см. рис. 207) к абразивному червяку;

2) вращение шлифуемого колеса, согласованное с вращением абразивного червяка так, что за один оборот червяка шлифуемое колесо

поворачивается на один зуб; вращение колесу передается от вала *XXVIII* и по кинематической цепи к шпинделю, на котором установлено колесо;

3) вертикальное возвратно-поступательное движение суппорта изделия, осуществляемое по кинематической цепи от вала *XVIII* к суппорту изделия; переключается суппорт для изменения направления движения перемещением муфты *М* при помощи гидравлики;

4) перемещение стойки при установке абразивного червяка и шлифуемого колеса на расстоянии между их осями и при радиальной подаче. Установочное движение выполняется вручную маховичком *4* (см. рис. 205), а подача — от руки маховичком *3* или при помощи гидравлики. При накатке витков абразивного червяка выполняются следующие движения:

вращение абразивного червяка, передаваемое от электродвигателя $Э_2$ (см. рис. 207), согласно структурной схеме, валу *XXVIII*, на котором насажен червяк;

поступательное перемещение суппорта накатника *10* (см. рис. 205) вдоль оси; это перемещение согласовано с вращением червяка: за один оборот червяка накатник перемещается на один шаг его.

Накатник получает вращение непосредственно от абразивного червяка в результате трения между ними. Направление перемещения накатника меняется под воздействием на переключатели кулачков, устанавливаемых на суппорте накатника.

Радиальная подача суппорта с накатником к абразивному червяку осуществляется гидравлически.

Электродвигатели $Э_1$ и $Э_2$ (см. рис. 207), приводящие в движение механизмы шлифования и накатки, сблокированы между собой: при включении одного из них второй выключается автоматически.

Согласованность вращения абразивного червяка и шлифуемого колеса в цепи обкатки обеспечивается сменными зубчатыми колесами гитары деления $x_л$, которые рассчитывают по формуле:

$$x_л = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{24}{z}$$

или принимают по таблице, приведенной в руководстве к станку.

Перемещение суппорта накатника вместе с накатником вдоль его оси согласовывается с вращением абразивного червяка при его накатке благодаря сменным зубчатым колесам гитары накатки $x_н$, которые рассчитывают по формуле

$$x_н = \frac{a_1}{b_1} = \frac{3}{2} m_n.$$

Вертикальная подача суппорта изделия по направляющим стойки вдоль оси шлифуемого колеса регулируется сменными зубчатыми колесами гитары подачи $x_п$. При выборе величин подачи и сменных колес следует пользоваться таблицей, приведенной в руководстве к станку.

Радиальную подачу заготовки к абразивному червяку устанавливают по лимбу на рукоятке. На лимбе нанесены деления, соответствующие величинам подач от 0,03 до 0,3 *мм* за один ход суппорта изделия.

Станок не имеет дифференциала, поэтому косозубые колеса шлифуют при наклонном положении оси за счет поворота головки суппорта изделия вокруг горизонтальной оси.

Станок управляется при помощи пульта, установленного на станине.

§ 66. ЗУБОЗАКРУГЛЯЮЩИЕ СТАНКИ

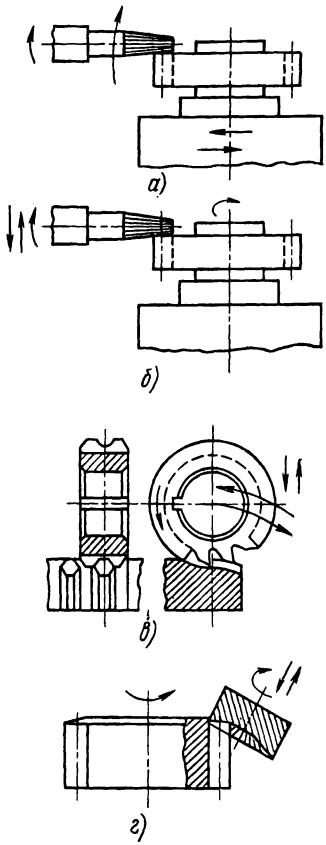


Рис. 208. Схема закругления зубьев:

а — пальцевой фрезой с прерывистым делением, *б* — пальцевой фрезой с непрерывным делением, *в* — дисковой фрезой с прерывистым делением, *г* — трубчатой коронной фрезой с прерывистым делением

Для облегчения ввода зубьев во впадины сопрягаемых колес при перемещении их вдоль своих осей выполняют один из специальных видов обработки торцов зубьев: закругление, заострение, снятие фасок.

Эту обработку выполняют несколькими методами:

1. Обработка пальцевой конической фрезой с прерывистым делением на каждый зуб (рис. 208, *а*). Ось шпинделя фрезы располагается перпендикулярно оси колеса. Шпиндель с фрезой, не перемещаясь вдоль своей оси, совершает возвратно-поступательное движение, траектория которого определяется устройством станка. Фреза, вращаясь вокруг своей оси, огибает зуб и на торце его делает закругление. После движения фрезы относительно одного зуба колесо поворачивается на следующий зуб.

В начале обработки деталь подводится к фрезе и в конце отводится от него.

2. Обработка пальцевой конической фрезой с непрерывным делением (рис. 208, *б*). Метод обработки аналогичен описанному в п. 1, только ось фрезы совершает движение вверх и вниз параллельно длине зуба, а колесо непрерывно вращается и закругление зубьев получается в результате совместного движения фрезы и вращения колеса. Описание этого метода обработки приведено ниже.

3. Обработка дисковой фрезой с прерывистым делением (рис. 208, *в*). Ось дисковой фрезы расположена параллельно торцу колеса и перпендикулярно к радиальной плоскости его. Движения, выполняемые при обработке зубьев, следующие: вращение фрезы, перемещение фрезы по направлению к торцу колеса на полную глубину закругления, перемещение центра фрезы по дуге вокруг центра этой дуги, быстрый отвод фрезы вверх и возврат ее в исходное положение к началу обработки следующего

зуба. Во время возвратного отвода фрезы происходит поворот колеса для обработки следующего зуба.

4. Обработка трубчатой коронной фрезой (рис. 208, *г*) с внутренней конусной поверхностью с зубьями. Фреза совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси и зубья ее вводятся в соприкосновение с противоположными профилями смежных зубьев, закругляя их торцы. При обратном ходе фрезы колесо поворачивается на один зуб и весь цикл повторяется.

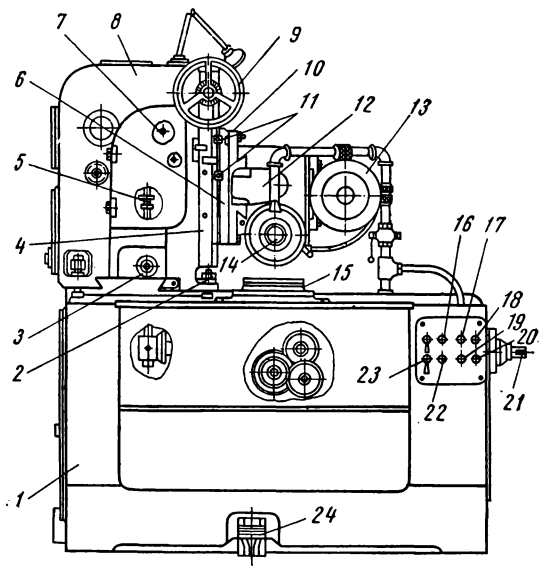


Рис. 209. Общий вид зубозакругляющего станка 5582

Кроме закругления на кромках зубьев снимаются фаски и заусеницы. Обработка выполняется аналогичными пальцевыми фрезами или же абразивным инструментом.

Ниже приводится описание станка 5582 и работы на нем по методу закругления конической пальцевой фрезой с непрерывным делением.

На станине *1* расположена стойка *8*, перемещающаяся по верхним поперечным направляющим станины для установки в заданное положение относительно заготовки (см. рис. 209). На вертикальной плоскости стойки справа смонтирована инструментальная бабка, состоящая из салазок *4*, промежуточной плиты *6*, поворотной плиты *10* и головки *12*. Бабка с салазками в процессе работы совершает возвратно-поступательные движения сверху вниз и обратно по боковым направляющим стойки для сообщения движения фрезе вдоль зуба колеса. Промежуточная плита *6* перемещается по плоскости салазок вверх и вниз только при установке фрезы относительно торца колеса. Это перемещение осуществляется вручную маховичком *9*. Если закругление выполняется за несколько проходов, то после каждого прохода фреза подается вдоль длины зуба маховичком *9*.

Плита *10* вместе с головкой *12* может поворачиваться на промежуточной плите *6* в вертикальной плоскости для осуществления наклона оси фрезы относительно торца колеса.

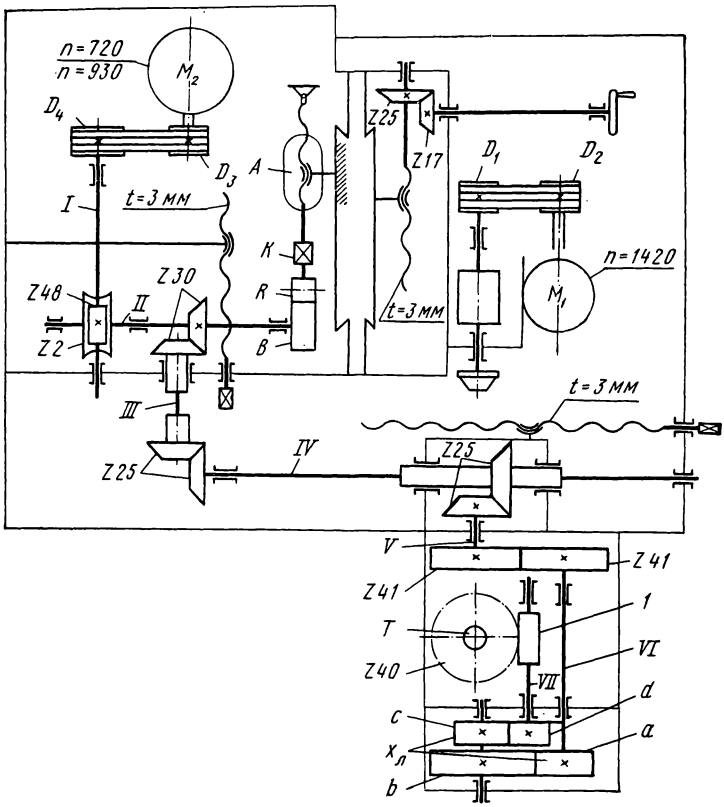


Рис. 210. Кинематическая схема зубозакругляющего станка 5582

Головка *12* со шпинделем и электродвигателем перемещается по направляющим поворотной плиты *10* к заготовке и назад при подводе и отводе фрезы от обрабатываемых зубьев.

На передней вертикальной плоскости станины (за кожухом) имеются горизонтальные направляющие, на которых установлена шпиндельная бабка изделия *15*, также состоящая из нижних салазок и верхней плиты, на которой закреплен корпус бабки со шпинделем. В шпиндель устанавливается оправка для крепления заготовки, а при необходимости к корпусу бабки крепится стол или приспособление, сцентрированное по отверстию шпинделя. Салазки бабки изделия могут перемещаться вдоль горизонтальных направляющих станины и закрепляться в необходимом положении. Верхнюю плиту вместе с корпусом бабки можно поворачивать в вертикальной плоскости параллельно направляющим станины и устанавливать ось шпинделя заготовки под углом.

Движение инструмента и заготовки при работе происходит таким образом. Фреза все время вращается от электродвигателя, установленного на инструментальной бабке; ее вращение не связано кинематически с другими движениями станка. Шпиндель бабки изделия с заготовкой непрерывно вращается от другого электродвигателя. Инструментальная бабка с фрезой совершает поступательно-возвратное движение вверх и вниз, которое осуществляется механизмом станка и согласуется с вращением заготовки — за один двойной ход фрезы заготовка поворачивается на один зуб. Характер движения фрезы зависит от формы кулачка, которая определяется величиной модуля и формой закругления (полное закругление зубьев или только по кромкам). В результате непрерывного вращения заготовки и согласованного перемещения вращающейся фрезы в направлении длины зуба получается закругление зуба. При движении фрезы вверх закругляется одна боковая кромка зуба, при движении вниз — другая.

Станок имеет гидросистему, при помощи которой зажимается заготовка в шпинделе и перемещается инструментальная бабка при подводе к заготовке.

Кинематическая схема станка изображена на рис. 210. Движение фрезе сообщается от электродвигателя $Э_1$ с числом оборотов $n = 1420$ в минуту через сменные шкивы D_2: D_1, которые передают фрезе 1000; 1600 и 2500 *об/мин*.

Для вращения заготовки от электродвигателя $Э_2$ с числом оборотов $n = 720$ или $n = 930$ в минуту движение передается через сменные шкивы $D_3 : D_4$, червячную передачу *2* : *48* и две конические передачи *30* : *30* и *25* : *25* шлицевому валу *IV*. На этом валу насажено коническое зубчатое колесо *25*, перемещающееся по шлицам вала при установочном перемещении бабки изделия. Дальше движение от вала *IV* передается через коническую пару *25* : *25*, цилиндрическую передачу *41* : *41*, сменные зубчатые колеса гитары деления $x_л$ и червячную пару *1* : *40* шпинделю *T*, на котором крепится заготовка.

Профильный кулачок *B* на валу *II* при помощи ролика *R* качает кулису *A*, а последняя сообщает возвратно-поступательное движение инструментальной бабке. Перемещением камня *K* кулисы можно менять соотношение ее плеч и таким образом регулировать величину хода инструментальной бабки в направлении длины закругляемых зубьев при одном и том же профильном кулачке. Регулирование скорости вращения шпинделя изделия и движение инструментальной бабки, согласованное с этой скоростью, производится переключением числа оборотов электродвигателя и сменой шкивов $D_3 : D_4$.

Ручные установочные перемещения осуществляются соответствующими винтами с рукоятками и маховичками, указанными на общем виде и на кинематической схеме. На кинематической схеме вертикальный винт, перемещающий при помощи маховичка *9* плиту *6* с головкой *12* инструментальной бабки (см. рис. 209) показан условно параллельно оси инструментального шпинделя.

При наладке станка заготовка с оправкой устанавливается в шпиндель или крепится на приспособлении так, чтобы радиальная ось

симметрии зуба совпадала с осью фрезы в ее верхнем положении. Закрепляется заготовка в приспособлении при помощи гидросистемы, для чего нажимается педаль *24*. Для окончательной регулировки установки разъединяется муфта синхронизатора *5* и поворачивается валик, передающий вращение шпинделю бабки изделия. Регулировку продолжают до тех пор, пока фреза не будет обеспечивать одинаковое закругление с одной и другой стороны зуба.

При обработке колес с косыми зубьями верхняя плита бабки изделия вместе с корпусом и обрабатываемым колесом поворачивается на угол, равный наклону зубьев колеса, так, чтобы фреза двигалась вдоль длины зубьев. Угол поворота устанавливается по шкале, нанесенной на салазках бабки. Кроме того, салазки вместе с бабкой при помощи винта *21* смещаются вдоль направляющих станины, чтобы центр торцовой окружности колеса после поворота находился против оси фрезы. Величина смещения отсчитывается по шкале на станине. Величина смещения определяется по формуле $L = (260 + l) \cdot \sin \beta$, где L — величина смещения; l — расстояние от плоскости стола до торца колеса, на котором закругляются зубья; величина 260 — постоянное расстояние от горизонтальной оси поворота бабки до плоскости стола; β — угол поворота плиты.

Инструментальная бабка устанавливается вдоль оси шпинделя перемещением стойки вдоль поперечных направляющих станины. Стойка открепляется и вращением винта *3* перемещается, чтобы расстояние от конца фрезы до заготовки при отведенной головке *10* было не менее 150 *мм* и фреза не врезалась бы в заготовку рис. 209. Затем кнопкой *18* включается электродвигатель гидропривода и при включении переключателя *23* в наладочное положение инструментальная бабка перемещается по плите *10* к изделию в крайнее переднее положение. Далее вращением винта *3* стойка перемещается к изделию до соприкосновения фрезы с дном впадины между зубьями заготовки и отводится назад на величину, равную 0,1 модуля. Величина отвода отсчитывается по шкале кольца на винте *3*, с ценой деления 0,1 *мм*. В таком положении стойка закрепляется на станине гайками *2*.

Глубина врезания в направлении длины зубьев устанавливается перемещением промежуточной плиты *6* относительно салазок *4*. Для этого фреза выдвигается вперед вдоль своей оси в крайнее положение, а салазки перемещаются кулисой в нижнее положение. Регулировка соотношения плеч кулисы осуществляется винтом *7*. Затем вращением маховичка *9* промежуточная плита с инструментальной головкой перемещается относительно салазок до соприкосновения режущих кромок фрезы с торцом зуба колеса. Нижний упор *11*, ограничивающий перемещение плиты вверх, подводится к ограничителю на салазках и закрепляется. Нажатием кнопки *17* приводится во вращение фреза, затем кнопкой *16* включается главный электродвигатель, а остановка электродвигателя осуществляется кнопкой *22*.

С помощью маховичка *9* промежуточная плита с фрезой перемещается вниз относительно салазок на глубину врезания, назначенную для первого прохода. Величина перемещения отсчитывается по нони-

усу маховичка *9*. После первого прохода фреза вращением маховичка перемещается на глубину врезания для второго прохода и т. д. После обработки первого колеса к ограничителю на салазках подводится верхний упор *11*, ограничивающий перемещение фрезы вниз, и закрепляется. Отключается фреза кнопкой *19*. В начале обработки следующего колеса плита с фрезой вращением маховичка подымается вверх до соприкосновения нижнего упора с ограничителем; обработка продолжается до подхода к ограничителю верхнего упора.

§ 67. НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ОТДЕЛКИ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Кроме шевингования и шлифования, профили зубьев колес для обеспечения высокой чистоты могут подвергаться и другим отделочным операциям — притирке, обкатке и приработке.

Притирка зубьев

Этот способ отделки применяется для окончательной доводки закаленных зубьев колес. При притирке обрабатываемое колесо вводится в зацепление с одним или несколькими зубчатыми притирами и им сообщается вращение. Притир изготовляется из чугуна и имеет толщину зубьев на 0,05 — 0,08 *мм* меньше, чем зубья притираемого колеса. Притирка осуществляется на специальных станках. Колесо и притир находятся в масляной ванне, в которую добавлен абразивный порошок.

Существуют два способа притирки: при параллельном расположении осей колеса и притира и при скрещивающихся осях. При параллельном расположении осей притир и обрабатываемое колесо вращаются, как зубчатая сопрягаемая пара, причем обычно колесо получает вращение от механизма станка, а притир вращается при помощи колеса, как ведомое звено. Притир возвратно-поступательно перемещается вдоль оси обрабатываемого колеса. Шпиндель притира снабжен тормозной пружиной, создающей необходимое давление на поверхностях зубьев. Шпиндель с притираемым колесом может перемещаться к шпинделю притира для регулировки зазора между зубьями.

В процессе притирки при скрещивающихся осях колеса и притирра притираемое колесо вводится в зацепление с тремя притирами, причем ось одного из них расположена параллельно оси колеса, а оси двух других скрещиваются с осью колеса под углом $5 \div 10°$. Притир с расположением оси параллельно оси колеса имеет прямые зубья, а притиры со скрещивающимися осями — винтовые зубья с правым и левым направлением витков.

Обрабатываемое колесо вращается от станка и приводит во вращение все три притира. Одновременно колесу сообщается возвратно-поступательное перемещение вдоль оси для обеспечения равномерной обработки зубьев по всей длине их. Через определенные промежутки времени меняется направление вращения колеса. Все три шпинделя притиров имеют тормозные устройства для создания давления между зубьями колеса и притиров. При вращении колеса и притиров, имею-

щих скрещивающееся расположение осей, происходит скольжение профилей зубьев, что улучшает процесс притирки.

При притирке повышается плавность передачи за счет улучшения геометрии зацепления, уменьшается шум, снижается отклонение профилей зубьев, повышается гладкость и чистота их поверхностей.

Обкатка (прикатка) зубьев

Обкатке подвергают незакаленные профили зубьев. Обкатываемое колесо вращается в зацеплении с одним или несколькими закаленными эталонными колесами; эталонные колеса не перемещаются вдоль оси колеса. Обкатка происходит в масляной ванне без абразивного порошка. Направление вращения эталона и колеса периодически меняется.

Обкатку производят одним из двух методов:

1. Обкатываемое и эталонное колесо в процессе работы устанавливают на теоретическое расстояние между их осями; давление между зубьями достигается торможением ведомого колеса.

2. Обкатываемое колесо устанавливают между тремя эталонами, расположенными под углом 120°, с которыми оно находится в зацеплении. Одно эталонное колесо получает вращение от электродвигателя и вращает обрабатываемое, а от него получают вращение два других эталона.

Эталонные колеса в процессе работы поджимаются к обрабатываемому колесу для создания давления между поверхностями профилей зубьев.

По такому методу обкатываются колеса невысокой точности вместо шевингования после чистового фрезерования. В процессе обкатки сглаживаются на профилях зубьев следы обработки, улучшается геометрия и чистота их, образуется наклеп верхнего слоя и получается блестящая гладкая поверхность профиля.

Приработка зубьев

Эта операция аналогична процессу обкатки выполняемому по первому методу, но в зацепление вводится пара сопрягаемых колес и им сообщается вращение также без применения абразивного порошка. В результате вращения сглаживаются шероховатости на поверхности профилей зубьев и они прирабатываются друг к другу. Такая приработка улучшает условия зацепления.

Отделка прямых и круговых зубьев конических колес

П р и к а т к а (обкатка) зубьев применяется для незакаленных конических колес после чистового нарезания перед термообработкой. Прикатываемое колесо вводится в зацепление с закаленным эталонным колесом или подобранном из производственных. При помощи пружины между зубьями создается давление. Приработка улучшает чистоту боковой поверхности профилей зубьев, облегчает процесс при-

тирки после термообработки. Для прикатки применяют машинное масло с добавлением свинцового сурика.

Притирка зубьев применяется для закаленных колес. Перед притиркой колеса подбирают в пары по пятну контакта и по зазору, и притирка производится в паре. Основное назначение притирки — улучшение чистоты боковой поверхности зубьев.

Шестерня (меньшее колесо из пары) является ведущей, а колесо — ведомое. Колесо, кроме вращения, совершает при притирке вертикальное колебание, а при круговых зубьях, кроме того, и горизонтальное. Каждую из сторон зубьев притирают отдельно.

§ 68. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ И РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Системы автоматического управления станков

Для повышения производительности и освобождения рабочего от управления станком в процессе работы многие зубообрабатывающие и резьбофрезерные станки имеют механизмы автоматического переключения движений на станке.

Станки, имеющие автоматическое переключение только некоторых движений в процессе работы, называются полуавтоматами. Если все движения на станках, включая установку заготовки и снятие обработанной детали, выполняются автоматически, то такие станки называются автоматами.

Автоматическое переключение движений как при частичной, так и при полной автоматизации станков осуществляется системами автоматического управления, которые обеспечивают выполнение определенных действий в заранее установленной последовательности.

По способу осуществления действия системы автоматического управления делятся на механические, электротехнические и гидравлические.

Механические системы автоматического управления подразделяются на распределительные, которые действуют во времени (времянные) и путевые.

В распределительной системе автоматическое перемещение рабочих органов осуществляется распределительным барабаном или валом при помощи каких-либо частей его. Время перемещения рабочего органа станка определяется частью оборота барабана (вала), а полный цикл работы совершается за один оборот его.

Распределительная механическая система автоматического управления применена на зубострогальном станке 526 (см. рис. 86) для перемещения продольного стола; распределительный барабан при воздействии пазов на ролики управляет необходимыми перемещениями продольного стола при подводе его к резцам и обратно (см. рис. 90).

В путевой системе автоматического управления начало или конец действия совершается по достижении каким-либо узлом станка или звеном механизма заданного положения.

Примером механического путевого автоматического управления может служить переключение продольного стола зубошлифовального станка 5831 (см. рис. 195, 196). Под действием кулачков стола на упоры осуществляется механическая передача через тяги и зубчатые рейки механизму, переключающему муфты для изменения направления движения стола и скорости движения.

Электротехнические системы автоматического управления приводятся в действие кулачками, установленными на двигающихся частях станка. Кулачки при подходе к роликам, связанным с электросистемой, нажимают на эти ролики и переключают (или выключают) электродвигатель. Такая система для автоматического выключения станка применена на зубофрезерных станках, на зубодолбежном 5Б150 (см. рис. 165), а для изменения направления движения — на шевинговальных станках 5714 и 5717 (см. рис. 120 и 191), а также на резьбофрезерном станке 5К63 (см. рис. 137).

Гидравлические системы автоматического управления действуют или непосредственно на управляемые органы, или через электрические переключатели. В первом случае гидравлическая система переключается каким-либо движущимся органом станка или от руки. Масло в гидросистеме перемещает поршень и осуществляет требуемое действие (перемещение стола, зажатие заготовки и т. п.). Такое устройство применено на станках 5А26 и 5А27С1 для отвода и подвода продольного стола и для зажатия заготовки.

Гидравлическая система с электрическим переключением применена на шевинговальном станке 5717 (см. рис. 192) для радиальной подачи шевера. При изменении направления продольного перемещения шевера салазки суппорта упорами включают электродвигатель, приводящий в действие гидросистему, которая при помощи собачки и храповика осуществляет движение механизма подачи.

Автоматизация производственных процессов

При работе на зубофрезерных и резьбофрезерных полуавтоматах некоторые работы выполняются автоматически. В зависимости от степени автоматизации станка рабочий выполняет больше или меньше ручных движений. Так на зубострогальном станке 5А26 (см. рис. 177) рабочий должен установить заготовку, зажать ее гидравлическим зажимом поворотом рукоятки, подвести заготовку к инструменту и пустить станок, после нарезания снять готовое колесо. Весь процесс обработки: подача инструмента при резании, поворот и перемещение заготовки, отход нарезанного колеса и остановка станка после окончания обработки выполняются автоматически. Зубофрезерные станки 5Е32 (рис. 151) и 5К324 (рис. 152) и резьбофрезерный 5К63 (рис. 139) имеют большую степень автоматизации: на них рабочий только устанавливает заготовку, пускает станок и снимает готовую деталь. Весь процесс обработки, остановка станка и перемещение инструмента в первоначальное положение происходят автоматически.

Необходимо применять приспособления и устройства, позволяющие осуществлять автоматическое управление станками.

При работе на автоматном станке рабочий только следит за работой его и за подачей заготовок в загрузочное устройство, а также за содержанием станка в чистоте и порядке. Иногда на существующих полуавтоматах устраивают загрузочные приспособления, которые автоматически устанавливают и закрепляют заготовки, а после обработки снимают готовые изделия; таким образом, полуавтомат превращается в автомат (см. станок 5245, рис. 187).

Дальнейший этап развития автоматизации — создание автоматических линий, работа которых является наиболее совершенным средством комплексной автоматизации технологических процессов на заводах крупносерийного и массового производства. Автоматическая линия состоит из ряда автоматически работающих станков, причем все вспомогательные работы: передача детали с одного станка к другому, закрепление ее, подвод инструмента, снятие готовой детали, а также контроль размеров выполняются автоматически. Заготовка поступает для загрузки в начале линии и в конце ее выходит готовая деталь.

Модернизация зубообрабатывающих и резьбофрезерных станков

Модернизацией станков называется усовершенствование их соответственно современным требованиям.

Модернизируют станки как работающие на предприятиях, так и станки вновь выпускаемые. При модернизации работающих станков изменяются некоторые узлы их в соответствии с новыми требованиями: увеличивается число оборотов, заменяются электродвигатели и передаточные отношения зубчатых или ременных передач от электродвигателя к шпинделю, изменяется механизм кинематических цепей для увеличения диапазона скоростей и подач, усовершенствуются способы зажима заготовок, упрощается система управления и т. д.

Иногда на предприятии модернизируют станок, чтобы можно было выполнять на нем какую-либо работу, не предусмотренную конструкцией станка (например, обработка детали больших размеров, нарезание колес с внутренними зубьями и т. п.). Модернизация работающих станков производится в узких пределах, так как конструкция и жесткость станка часто не допускают замены его механизма или отдельных узлов.

Наиболее полная модернизация станков осуществляется усовершенствованием конструкции станка при изготовлении новых моделей (например, быстроходного станка 5К324, см. рис. 152). В этом случае улучшаются механизмы и узлы станка с целью повышения производительности и точности зубонарезания или резьбофрезерования. Увеличивается жесткость узлов станка, необходимая при повышении режимов резания. Повышается степень автоматизации для сокращения рабочего времени. Улучшается управление станком. Применяются более совершенные способы зажима заготовок при помощи гидросистем или пневматических устройств. Совершенствуется делительная пара привода стола для повышения точности расположения зубьев на венце при нарезании. Станок оснащается дополнительными устрой-

ствами для расширения технологических возможностей его (нарезание зубьев червячных колес с осевой подачей, нарезание внутренних зубьев). Применяется автоматическая осевая передвижка фрезы в процессе работы на зубофрезерных станках, совершаемая непрерывно или периодически для обеспечения более равномерного износа зубьев фрезы по ее длине. Внедряется автоматизация подвода и отвода режущего инструмента, холостого хода, остановки станка по окончании обработки и т. п.

§ 69. ПРОВЕРКА ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ И РЕЗЬБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ НА ТОЧНОСТЬ

Государственным стандартом определены общетехнические условия и нормы точности и жесткости, которыми руководствуются при составлении плана проверки данного вида станков.

Станки проверяются в следующих случаях: при установке нового станка, после капитального ремонта и при наладке.

Вновь установленный станок испытывают и проверяют на горизонтальность в продольном и поперечном направлениях при помощи чувствительных уровней; на плавность и точность движений при холостом ходе для контроля механизмов и паспортных данных; на жесткость в работе под нагрузкой; на мощность; на геометрическую точность узлов станка и на чистоту и точность обрабатываемых поверхностей деталей.

После капитального ремонта испытывают и проверяют станок так же, как и при установке нового. Периодически, в сроки, преусмотренные графиком, проверяют станок на геометрическую точность. При наладке станок проверяет наладчик, обращая внимание на работу таких частей станка, как шпиндель, стол и другие.

Геометрическая точность станков должна соответствовать нормам ГОСТ. При проверке обращают внимание в основном на правильность вращения шпинделей, прямолинейность направляющих, параллельность и перпендикулярность осей, торцев шпинделей и плоскостей. Порядок проверки узлов станков, чаще всего выполняемый при наладке, и нормы точности для зуборезных станков предусматриваются ГОСТ 659—67; 658—67; 5642—67; 9153—68; 9152—67.

Проверка резьбофрезерных станков выполняется по ГОСТ 1797—68. Резьбофрезерные станки в основном проверяют на параллельность плоскостей и правильность вращения шпинделей передней бабки и фрезерной головки.

На шпинделе передней бабки проверяют: радиальное биение центрирующей шейки; радиальное биение оси конического отверстия; параллельность оси шпинделя направлению движения фрезерной головки; осевое биение шпинделя; перпендикулярность торцевой поверхности шпинделя к оси вращения его; радиальное биение оправки, зажатой в цанговом патроне.

Аналогичные проверки необходимы и для шпинделя фрезерной головки и выполняют их такими же методами, как на зубофрезерных и резьбофрезерных станках.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3

Раздел первый. Общие сведения 5

Глава I. Основные сведения о зубчатых колесах и зубчатых передачах 5

§ 1. Назначение и виды зубчатых передач 5

§ 2. Эвольвентные профили зубьев 8

§ 3. Прямозубые цилиндрические колеса 9

§ 4. Косозубые и шевронные колеса 17

§ 5. Червячные передачи 18

§ 6. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова 20

§ 7. Конические зубчатые колеса 22

Глава II. Режущие инструменты и процесс резания металлов . . 25

§ 8. Общие сведения о режущих инструментах 25

§ 9. Виды зуборезного инструмента 27

§ 10. Инструментальные материалы 29

§ 11. Общие сведения о процессе резания металлов 31

§ 12. Физические основы процесса резания 33

§ 13. Силы резания 36

§ 14. Износ и стойкость инструмента 37

§ 15. Шероховатость поверхности и вибрации при резании 38

Глава III. Основы техники безопасности 40

§ 16. Охрана труда и техника безопасности 40

Раздел второй. Нарезание зубчатых колес и фрезерование резьб 42

Глава IV. Нарезание цилиндрических и червячных колес на зубофрезерных станках 42

§ 17. Подготовка рабочего места и станка к наладке 42

§ 18. Точность зубчатых колес и методы зубонарезания 43

§ 19. Образование профилей зубьев при нарезании червячной фрезой 44

§ 20. Зубофрезерный станок 5Д32 47

§ 21. Приспособления, режущий и вспомогательный инструмент . . 55

§ 22. Наладка станка для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями 60

§ 23. Наладка станка для нарезания цилиндрических зубчатых колес с косыми зубьями 68

§ 24. Наладка станка для нарезания червячных колес 74

§ 25. Методы и средства измерения зубчатых колес 78

§ 26. Дефекты профиля нарезаемых зубьев и причины их возникновения 85

§ 27. Нарезание червяков и колес глобоидной червячной передачи 87

Глава V. Нарезание цилиндрических колес на зубодолбежных станках 92

§ 28. Образование профиля зубьев при нарезании долбяком 92

§ 29. Зубодолбежный станок 514 93

§ 30. Приспособления, режущий и вспомогательный инструмент . . 100

§ 31. Наладка станка для нарезания цилиндрических зубчатых колес 103

Глава VI. Нарезание конических прямозубых колес на зубострогальных станках 112

§ 32. Образование зубьев конических колес по методу обкатки . . . 112

§ 33. Зубострогальный станок 526 114

§ 34. Приспособления и режущий инструмент 122

§ 35. Наладка станка для нарезания конических колес 125

Глава VII. Нарезание конических зубчатых колес с круговыми зубьями 139

§ 36. Образование круговых зубьев конических колес по методу обкатки 139

§ 37. Резцовые головки 141

Стр.

§ 38. Методы нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями . . . 144
§ 39. Зуборезный станок 5А27С1 . . . 146
§ 40. Наладка станка 5А27С1 для нарезания конических колес с круговыми зубьями . . . 154
§ 41. Зуборезный станок 528 . . . 162
§ 42. Наладка станка 528 для нарезания конических колес с круговыми зубьями . . . 169
§ 43. Проверка пятна контакта профилей зубьев на контрольно-обкатном станке и изменение его расположения . . . 174
Глава VIII. Шевингование цилиндрических зубчатых колес с наружными зубьями . . . 182
§ 44. Процесс шевингования . . . 182
§ 45. Шевинговальный станок 5714 . . . 184
Глава IX. Нарезание резьб на резьбофрезерных станках . . . 194
§ 46. Основные сведения о резьбах . . . 194
§ 47. Методы фрезерования резьбы . . . 199
§ 48. Резьбофрезерный станок 5К63 . . . 201
§ 49. Резьбофрезерный станок 561 . . . 210
§ 50. Планетарный резьбофрезерный станок . . . 220
§ 51. Основные виды брака при резьбофрезеровании и причины его возникновения . . . 221
Глава X. Основы проектирования технологических процессов . . . 223
§ 52. Определения и основные понятия . . . 223
§ 53. Основные этапы проектирования технологического процесса . . . 224
Глава XI. Общие вопросы технологии зубонарезания и резьбофрезерования . . . 229
§ 54. Технология обработки зубьев зубчатых колес и червяков . . . 229
§ 55. Техническое нормирование работ на зуборезных станках . . . 233
Раздел третий. Зубообрабатывающие станки . . . 236
Глава XII. Зубофрезерные станки для нарезания цилиндрических зубчатых и червячных колес . . . 236
§ 56. Вертикальные зубофрезерные станки . . . 236
§ 57. Горизонтальный зубофрезерный станок 5А341 . . . 250
Глава XIII. Зубодолбежные и зубострогальные станки для нарезания зубьев цилиндрических колес . . . 255
§ 58. Зубодолбежные станки . . . 255
§ 59. Зубострогальные станки . . . 266
Глава XIV. Станки для нарезания конических зубчатых колес . . . 268
§ 60. Станки для нарезания конических колес с круговыми зубьями . . . 268
§ 61. Зубострогальные станки для нарезания прямозубых конических колес . . . 272
§ 62. Нарезание прямозубых колес двумя дисковыми фрезами по методу обкатки . . . 281
§ 63. Нарезание конических прямозубых колес профильным инструментом и по копиру . . . 284
Глава XV. Станки для отделки зубьев цилиндрических зубчатых колес . . . 289
§ 64. Шевинговальные станки . . . 289
§ 65. Зубошлифовальные станки . . . 293
§ 66. Зубозакругляющие станки . . . 316
§ 67. Некоторые методы отделки профилей зубьев цилиндрических колес . . . 321
§ 68. Автоматизация и модернизация зубообрабатывающих и резьбофрезерных станков . . . 323
§ 69. Проверка зубообрабатывающих и резьбофрезерных станков на точность . . . 326

59 коп.