

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно,
В. В. Демидов, Е. Ю. Сахно**

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Учебное пособие

Ульяновск
УлГТУ
2011

УДК 621.9.042
ББК 34.630.01
Ж22

Рецензенты: кафедра «Техническая механика» Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, кандидат технических наук **Л. Г. Татаров**;
кафедра «Конструирование станков и машин» Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», кандидат технических наук **Д. Ю. Федориненко**.

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

1-4 главы – автор В. И. Жиганов;
5-9 главы – авторы Ю. А. Сахно, Е. Ю. Сахно;
10 глава – автор В. В. Демидов.

Жиганов, В. И.

Ж 22 Механическая обработка зубчатых колес : учебное пособие /
В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно, В. В. Демидов, Е. Ю. Сахно. –
Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 134 с.

ISBN 978-5-9795-0890-0

В учебном пособии рассмотрены способы обработки зубчатых колес, реек, червяков и других изделий, применяемых на зубообрабатывающих станках при обработке способами копирования и обкатки.

Более подробно рассмотрены кинематика нарезания на различных зубообрабатывающих станках и термообработка зубчатых колес, их чистовая обработка и закалка. Рассмотрены различные конструкции зубообрабатывающих и отделочных станков, приведены их технические характеристики. Приведены кинематические схемы отдельных станков и рассмотрены особенности их работы, приведено краткое описание прогрессивных конструкций червячно-модульных фрез.

Печатается в авторской редакции.

**УДК 621.9.042
ББК 34.630.01**

ISBN 978-5-9795-0890-0

© Жиганов В.И., Сахно Ю.А.,
Демидов В.В., Сахно Е.Ю., 2011.
© Оформление. УлГТУ, 2011.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЗАГОТОВКЕ	6
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	10
2.1. Фасонные (модульные) дисковые и пальцевые фрезы	10
2.2. Дисковые зуборезные (модульные) фрезы	13
2.3. Пальцевые модульные фрезы	14
ГЛАВА 3. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ	18
3.1. Способы установки заготовок на станке	20
ГЛАВА 4. КИНЕМАТИКА СТАНКОВ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	23
4.1. Зубофрезерные станки	23
4.2. Кинематика и настройка зубофрезерного станка	26
4.3. Бездифференциальная настройка зубофрезерных станков	33
4.4. Автоматическая передвижка фрезы	34
4.5. Диагональное зубофрезерование	35
4.6. Особенности встречного и попутного фрезерования	41
ГЛАВА 5. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКОВ	44
5.1. Нарезание косозубых колес	46
5.2. Зубодолбежный полуавтомат 514	47
ГЛАВА 6. НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС НА ЗУБОСТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ	55
6.1. Зубострогальный полуавтомат 5А26	55
6.2. Кинематическая схема станка 5А26	57
6.3. Зубострогальный полуавтомат 5П23БП	63
ГЛАВА 7. НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ И ИЗДЕЛИЙ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ	67
7.1. Кинематическая настройка станков для нарезания конических колес с круговыми зубьями	69
7.2. Особенности нарезания гипоидных колес и полуобкатной шестерни ...	75
7.3. Обработка неэвольвентных профилей по методу огибания (обкатки) ...	76

ГЛАВА 8. СТАНКИ ДЛЯ ЗУБОЗАКРУГЛЕНИЯ, СНЯТИЯ ФАСОК И ЗАУСЕНЕЦ	79
ГЛАВА 9. МЕТОДЫ ОТДЕЛКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС	85
9.1. Шевингование зубьев	85
9.2. Зубошлифование	91
9.3. Зубошлифовальный станок модели 5В833	94
9.4. Обкатка (нагартровка)	98
9.5. Зубопритирочный станок мод. 5П725	102
9.6. Хонингование зубьев цилиндрических колес	102
ГЛАВА 10. ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ	105
10.1. Применение твердых сплавов для режущей части ЧМФ	105
10.2. Применение составных ЧМФ	106
10.3. Применение сборных ЧМФ	107
10.4. Применение многозаходных ЧМФ	112
10.5. Применение ЧМФ с особым расположением стружечных канавок	114
10.6. Применение червячных фрез с измененной схемой резания	115
10.7. Применение ЧМФ с положительными передними и увеличенными задними углами	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	127
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	133

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве металлообрабатывающих станков при нарезании зубчатых колес для формообразования прямолинейных и криволинейных поверхностей имеются органы настройки кинематических цепей в виде гитар сменных зубчатых колес, а также регулируемых электродвигателей, коробок скоростей и подач [1–5 и др.]. Кинематическое согласование прямолинейных перемещений и скоростей исполнительных органов станка между собой обусловлено задачей образования поверхностей с заданной формой, размерами, точностью и шероховатостью[5].

Рассмотрим методику формирования кинематической структуры станков, включающих управляющие узлы для обработки прямолинейных и криволинейных поверхностей цилиндрических и конических колес [6].

Зубообрабатывающие станки предназначены для нарезания и отделки зубьев колес, реек, червяков, для нарезания шлицев на валиках, резьб и пр.

По классификатору станков, принятому в СССР, группе зубообрабатывающих станков присвоена цифра 5. Группа зубо- и резбообрабатывающих станков разделена на следующие типы: 0 – резбонарезные; 1 – зубострогальные и зубодолбежные для цилиндрических колес; 2 – зуборезные для конических колес; 3 – зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валиков; 4 – зубофрезерные для колес червячных; 5 – для обработки торцов зубчатых колес (зубозакругляющие); 6 – резбофрезерные; 7 – зубоотделочные-шевинговальные, притирочные, проверочные и обкатные; 8 – зубо- и резбошлифовальные; 9 – разные зубообрабатывающие станки, не предусмотренные выше.

Расшифровка станка, например модели 5K324, следующая.

Первая цифра шифра означает группу станка, вторая-тип. Третья цифра или третья и четвертая вместе взятые, характеризуют размер станка или обрабатываемого изделия, или другой признак, даваемый заводом изготовителем по своему усмотрению.

Буква, стоящая после первой цифры шифра (K), указывает на модернизацию основной базовой модели станка, подвергшейся небольшим изменениям; буква в конце номера означает модификацию (видоизменение) основной базовой модели. При отсутствии буквы – модификации нет.

В настоящее время мировая станкостроительная промышленность добилась больших успехов в области производства зубообрабатывающих станков. Устаревшие станки заменены новыми – более прогрессивными, освоено производство большого числа новых зуборезных и контрольно-обкатных станков, значительно повысился и качественный уровень выпускаемого оборудования. Достигнуты определенные успехи в области теории нарезания различных типов зубчатых колес, разработаны более совершенные способы обработки.

ГЛАВА 1

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЗАГОТОВКЕ

Резьбонарезные станки предназначены для формообразования на заготовках винтовых поверхностей, которые широко применяют в машиностроении в неподвижных резьбовых соединениях, винтовых и червячных передачах, а также в большинстве режущих инструментов, применяемых при формообразовании на станках винтовых поверхностей [7, 8].

Резьбы (винтовые поверхности) характеризуются в продольном направлении винтовой линией и в поперечном сечении, проходящем через ось тела вращения – профилем. Профиль может быть треугольным, прямоугольным, трапецеидальным, полукруглым и т.д.

Для формообразования винтовых поверхностей в большинстве случаев используют режущие и абразивные инструменты, форма режущей кромки или контура которых совпадают с профилем нарезаемой резьбы. Поэтому основным методом образования профиля винтовых поверхностей является метод копирования, и этот метод осуществляется резьбовыми резцами, дисковыми резьбовыми фрезами, многониточными шлифовальными кругами и другими инструментами (рис. 1.1).

Для образования профиля у цилиндрических и глобоидных червяков, а также у ходовых винтов при нарезании их чашечным и обкаточным резцом используют метод обката. В продольном направлении форма винтовых поверхностей образуется методом следа или касания в зависимости от применяемого инструмента.

В связи с тем, что наиболее распространенным методом образования профиля резьбы является метод копирования, не требующий движения формообразования, кинематическая структура большинства резьбообрабатывающих станков состоит только из кинематических групп, создающих движения для образования винтовой линии.

На рис. 1.2 показана структурная кинематическая схема токарно-винторезного станка, предназначенного для нарезания резьб фасонным резцом или резьбовой гребенкой. Станок имеет одну сложную группу формообразования, создающую винтовое движение $\Phi_V (B_1\Pi_2)$ инструмента относительно заготовки. Внутренняя кинематическая связь группы осуществляется винтонарезной цепью 1–2 между шпинделем I заготовки и продольным суппортом II с органами настройки $i_{винт}$ на шаг резьбы и P_I на направление подачи.

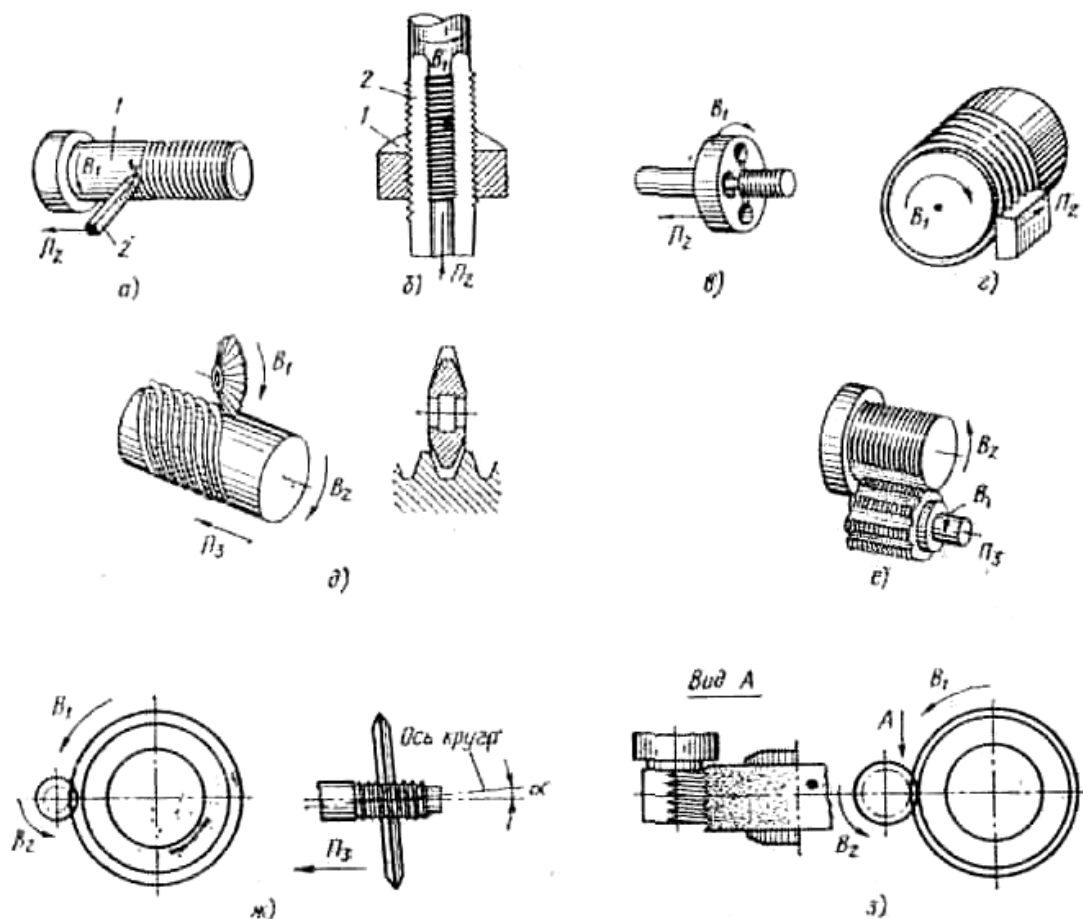


Рис. 1.1. Формообразование винтовых поверхностей на заготовках 1 режущим инструментом 2

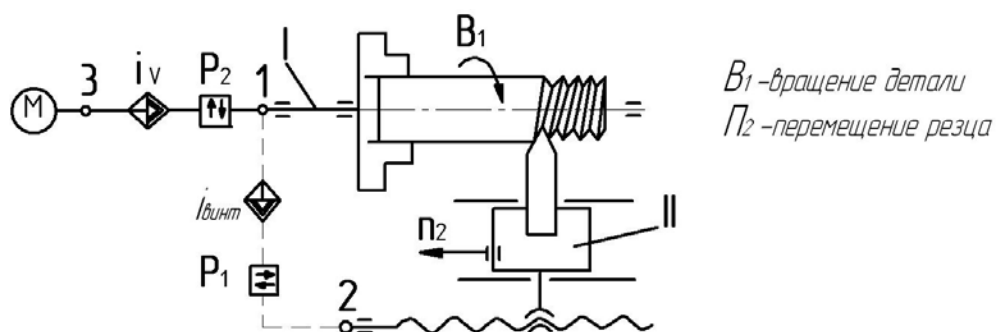


Рис. 1.2. Структурная кинематическая схема токарно-винторезного станка

Внешняя связь группы осуществляется через цепь 3–1, связывающую источник движения M с одним из звеньев винтонарезной цепи (точка 1) и имеющую органы настройки i_v на скорость и P_2 на направление винтового движения (правая или левая резьба).

В станках, нарезающих резьбу метчиками или плашками, винтонарезная цепь отсутствует. Внутренняя связь группы, создающей

винтовое движение $\Phi_{VI}(B_I\Pi_2)$, из-за особой конструкции этих инструментов осуществляется связью винтовой кинематической пары инструмент-заготовка. Поэтому станок имеет простую кинематическую группу формообразования. Настройка на шаг нарезаемой резьбы здесь отпадает, так как на метчике или плашке режущие кромки расположены по винтовой линии с шагом, равным шагу нарезаемой резьбы.

Наиболее сложными структурами резьбообрабатывающих станков являются структуры с двумя сложными группами формообразования. Это относится к станкам, нарезающим резьбу червячной резбовой фрезой с профилем зуба, шагом и длиной, соответствующим профилю, шагу и длине нарезаемой резьбы, а также к станкам, вырезающим многозаходные цилиндрические червяки и ходовые винты обкаточным чашечным резцом (рис. 1.3).

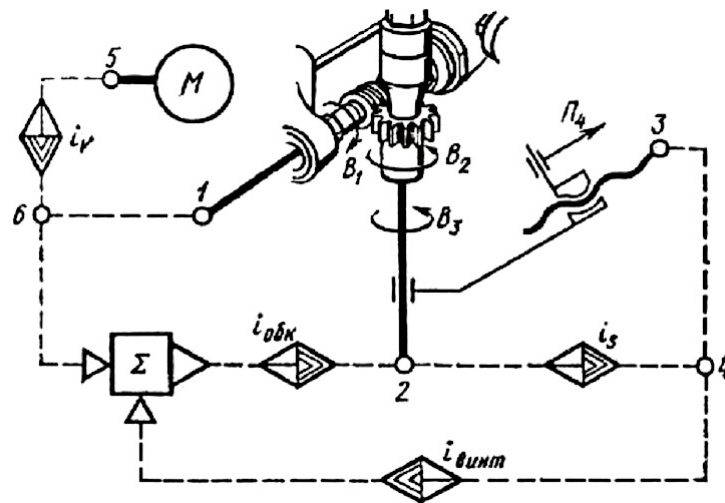


Рис. 1.3. Структурная кинематическая схема станка для нарезания цилиндрических червяков и ходовых винтов чашечным резцом

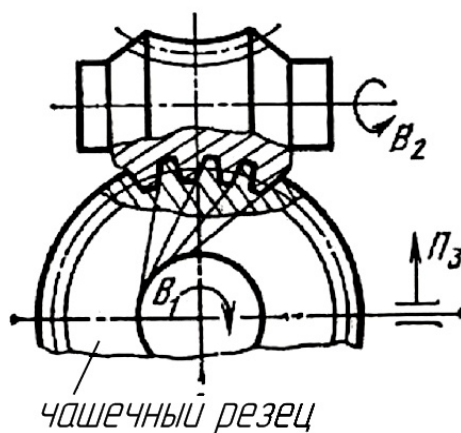


Рис. 1.4. Схема формообразования при нарезании глобоидного червяка обкаточным чашечным резцом

Первая группа $\Phi_V (B_1 B_2)$ создает движение обката, согласующее вращение шпинделя B_2 заготовки с вращением B_1 шпинделя инструмента, включая орган настройки. В станках работающих червячной фрезой, во внутренней цепи группы $\Phi_V (B_1 B_2)$ орган настройки на шаг резьбы отсутствует, так как шаг нарезаемой резьбы обеспечивает сам инструмент. Вторая сложная группа $\Phi_3(B_3 P_4)$ согласует движение подачи P_4 инструмента и вращение шпинделя B_3 и содержит внутреннюю цепь соединяющую шпиндель заготовки с продольным суппортом, на котором расположен инструмент, имеющий орган настройки на траекторию движения $i_{винт}$. Обе группы Φ_V и Φ_3 имеют органы настройки на скорость i_V и подачу i_s . В связи с тем, что обе группы имеют общий исполнительный орган – шпиндель заготовки, а создаваемые ими движения осуществляются в одно и тоже время, в структуре рассматриваемых станков имеется суммирующий механизм Σ , соединяющий обе группы и обеспечивающий на шпинделе суммарное движение $B_1 + B_3$.

Кинематическая структура станка для нарезания обкаточным резцом глобоидного червяка (рис. 1.4) содержит одну сложную группу формообразования $\Phi_V(B_1 B_2)$ с органами настройки $i_{обк}$ и i_V в одну простую группу, создающую движение радиального врезания $B_p(P_3)$ с органом настройки $i_{вр}$.

В резьбообрабатывающих станках внутренние кинематические цепи групп формообразования через соответствующие им органы настройки должны обеспечивать следующие основные условия кинематического согласования перемещений своих конечных звеньев.

1. Винторезные цепи с органом настройки $i_{винт}$:

1 об. заготовки $\rightarrow P$ мм продольного перемещения инструмента, где P – шаг нарезаемой резьбы.

2. Цепи обкатки с органом настройки $i_{обк}$:

1 об. заготовки $\rightarrow \frac{k}{z}$ об. чашечного резца, где z – число зубьев

чашечного резца; k – число витков нарезаемой резьбы (червяка).

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В настоящее время зубчатые колеса нарезают в основном двумя методами: методом копирования и методом обката или огибания.

Метод копирования. Для нарезания зубчатых колес этим методом применяют инструмент, режущие кромки которого имеют очертание, соответствующее контуру впадины нарезаемого зубчатого колеса. В качестве такого инструмента используют модульные фрезы (дисковые или концевые) (рис. 2.1, а, б, в) или же фасонные резцы.

Обработка производится либо одним инструментом (поочередно каждую впадину), либо несколькими одновременно по числу впадин.

Недостатки метода копирования: 1 – для обработки каждого зубчатого колеса с определенным числом зубьев и модулем требуется инструмент специального профиля, поскольку профиль зависит от модуля и числа зубьев. На практике пользуются набором модульных фрез (в 8 шт., более точные наборы в 15 и реже в 26 шт.) для каждого модуля; причем каждая фреза набора предназначена для нарезания колес с числом зубьев в определенном диапазоне их значений. 2 – точность нарезания зубчатых колес невысока, так как помимо погрешности, обусловленной неточностью работы делительного механизма, неизбежны погрешности, вследствие неточности инструмента.

В связи с указанными недостатками к такому методу зубонарезания прибегают лишь при отсутствии зуборезных станков, т.е. в условиях ремонта или при единичном изготовлении колес, а также для предварительного нарезания впадин (при черновой операции).

При нарезании зубьев одним инструментом производится поворот головки на шаг зубьев, т.е. на $1/z$ часть оборота, где z – число зубьев нарезаемого колеса. Производительность при этом способе низка, так как зубья нарезаются каждый отдельно и требуют время на возврат инструмента в исходное положение и на деление заготовки.

2.1. Фасонные (модульные) дисковые и пальцевые фрезы

Эти фрезы применяют при нарезании зубчатых колес методом фасонного зубофрезерования, часто называемого методом копирования. При этом методе инструментом служит фасонная фреза, профиль которой представляет копию впадины между зубьями колеса (рис. 2.1).

Обычно для зубчатых колес применяют модульные дисковые фрезы, а для особенно больших зубчатых колес – фасонные пальцевые фрезы (рис. 2.1, в). С увеличением числа зубьев кривые эвольвенты зуба изменяются и приближаются к прямой линии, а при колесе с бесконечно большим

количеством зубьев – рейке; эвольвента превращается в прямую линию (рис. 2.2).

При точном нарезании колес с числом зубьев от 12 до 300 одного модуля необходимо 288 фрез с различным профилем их зубьев. Такое количество фрез для колес только одного модуля иметь дорого и трудно, поэтому в зависимости от точности нарезания ограничиваются комплектом из 3, 8, 15 или 26 фрез вместо 288.

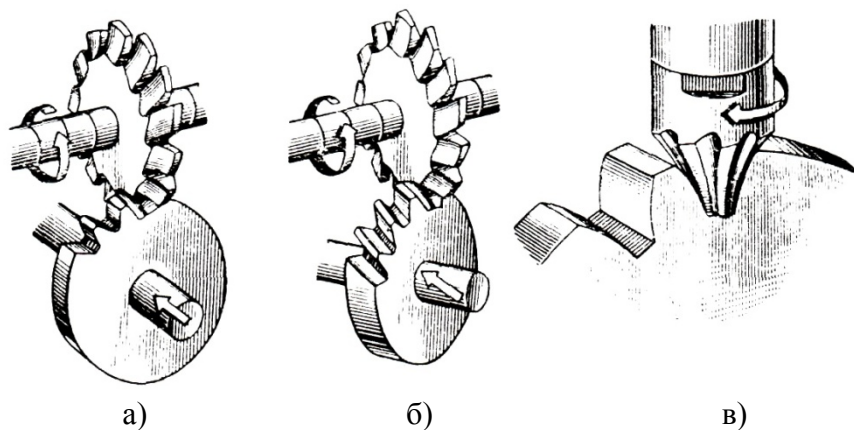


Рис. 2.1. Схема нарезания зубчатых колес методом копирования:

а – дисковой модульной фрезой цилиндрического колеса с прямыми зубьями; б – дисковой модульной фрезой цилиндрического колеса с винтовыми зубьями; в – пальцевой модульной фрезой цилиндрического колеса с прямыми зубьями

Каждая фреза из комплекта имеет свой номер и предназначена для нарезания колес с определенным диапазоном их зубьев. В таблице 2.1 приведены номера фрез и диапазон зубьев колес, для которых предназначена та или иная фреза. При комплекте из восьми фрез точно по профилю могут быть нарезаны колеса, имеющие число зубьев 12, 14, 17, 21, 26, 35, 55 и 135, а все остальные колеса получаются при нарезании неточного профиля.

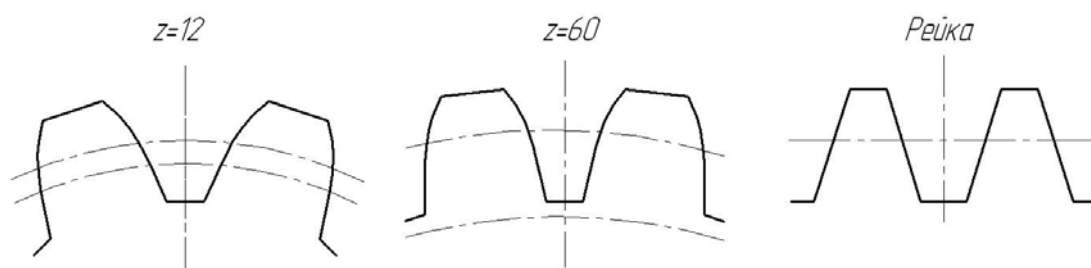


Рис. 2.2. Изменение профиля зубьев колес при увеличении зубьев

В таблицах 2.1 и 2.2 указаны комплекты дисковых модульных фрез, установленные по ОСТ 20181-40.

Таблица 2.1. Комплекты дисковых модульных фрез

Комплект из 8 шт			
№ фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса	№ фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса
1	12-13	5	26- 34
2	14-16	6	35- 54
3	17- 20	7	55-134
4	21- 25	8	135 и зубчатая рейка

Таблица 2.2. Комплекты дисковых модульных фрез

Комплект из 15 шт			
№ фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса	№ фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса
1	12	5	26-29
1,5	13	5,5	30-34
2	14	6	35-41
2,5	15-16	6,5	42-54
3	17-18	7	55-79
3,5	19-20	7,5	80-134
4	21-22	8	135 и зубчатая рейка
4,5	23-25		

Увеличение количества фрез в наборе для более крупных модулей вызвано тем, что неточность нарезания одной фрезы колес с разными числами зубьев для больших модулей сказывается больше. По этой причине для точных колес более крупных модулей (свыше 16 мм) применяют комплекты, состоящие из 26 номеров фрез для каждого модуля.

Подбор модульной фрезы для нарезания косозубых шестерен несколько сложнее, так как в этом случае необходимо учесть величину угла β наклона зубцов.

Если для нарезания, например 32 косых зубцов модуля 6, взять фрезу №5 из 8-штучного набора, то это будет ошибкой, и в работе получится брак. В этом случае профрезерованная впадина между зубцами получится значительно шире, чем это требуется. Для того, чтобы получить правильный профиль у косых зубцов, необходимо модульную фрезу подбирать не по действительному числу зубцов, а по фиктивному. Это фиктивное число зубцов необходимо определять по следующей формуле:

$$Z_{\phi} = \frac{z}{\cos \beta^3},$$

где Z_{ϕ} – фиктивное число зубцов фрезы, z – действительное число зубцов, β – угол наклона зуба.

Основная ошибка в профиле нарезаемого колеса здесь обусловлена тем, что косозубое колесо имеет эвольвентный профиль только в торцовом сечении, тогда как эвольвентный профиль фрезы располагается в сечении нормальном к направлению зуба.

2.2. Дисковые зуборезные (модульные) фрезы

В зависимости от профиля зубцов различают дисковые зуборезные (модульные) фрезы: *I* острозаточенные; *II* затылованные.

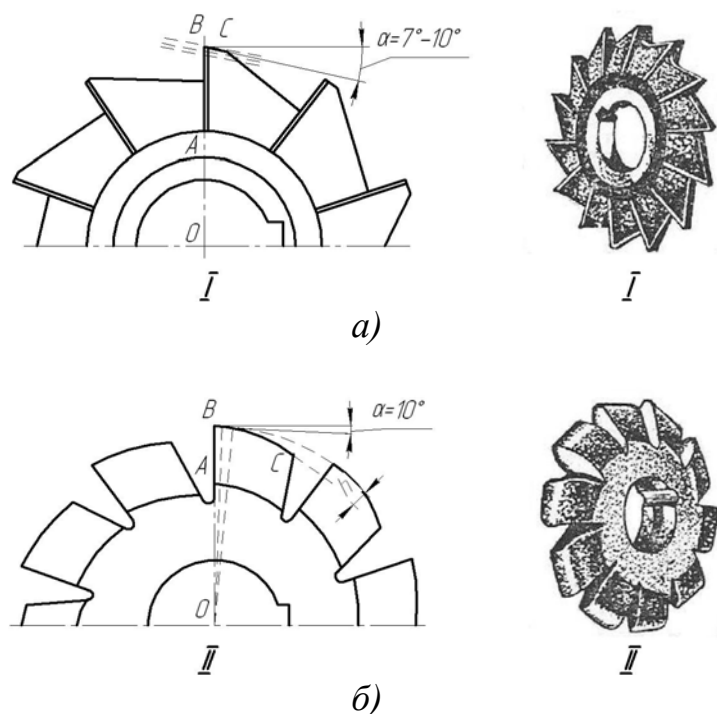


Рис. 2.3. Дисковые модульные фрезы
а – острозаточенные; б – затылованные

В обоих случаях передняя грань AB (рис. 2.3) радиальна, т.е. направлена по радиусу фрезы. Разница между фрезами с острозаточенными и с затылованными зубцами заключается в конструкции задних граней зубцов.

Фрезы с острозаточенными зубцами имеют прямолинейную заднюю грань BC и затачиваются по задней грани. Заточка производится под углом $\alpha=7-10^\circ$, который носит название заднего угла. Назначение заднего угла заключается в том, чтобы уменьшить трение между задней гранью и обрабатываемым металлом. Недостаток фасонной фрезы с острозаточенными зубцами заключается в том, что после переточки её фасонный профиль несколько искажается, вследствие чего эти фрезы применяются только для обдирки (предварительного нарезания) зубцов. Эти фрезы, имеющие трапециевидальный профиль, изготавливаются, начиная от модуля 4 и выше. Стоимость изготовления фрезы всегда бывает ниже стоимости изготовления фрезы того же модуля с затылованными зубцами.

Затылованные фрезы имеют зубцы, задние грани BC которых обтачиваются по спирали. Заточка этих фрез производится по передней грани AB . Крупное достоинство фасонной фрезы заключается в том, что после переточки она сохраняет свой фасонный профиль. Вот почему дисковые зуборезные фрезы для чистового нарезания зубцов всегда изготавливаются с затылованными зубцами.

2.3. Пальцевые модульные фрезы

Пальцевые модульные фрезы (табл. 2.3) для чистовой и черновой обработки отличаются незначительно. На черновой фрезе делают стружколомательные канавки (рис. 2.4) с шагом от 5 до 30 мм, передний угол $\gamma=8-10^\circ$.

Таблица 2.3. Пальцевая модульная фреза

Диаметр пальцевой фрезы d , мм	45-40	50-70	75-140	150-220
Количество зубьев	2	4	6	8
Материал режущей части	P9, P18, 9XC			

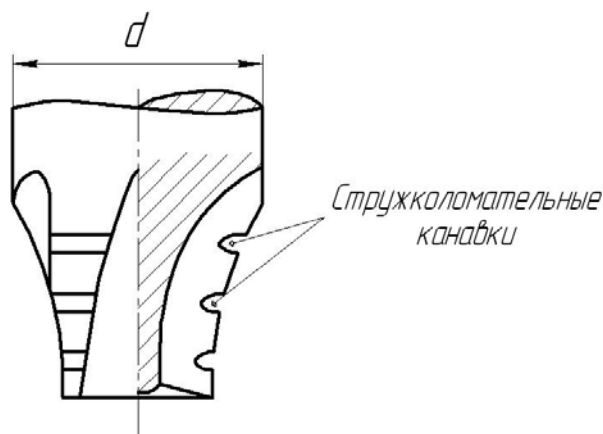


Рис. 2.4. Пальцевая модульная фреза

Комплект состоит из трех черновых фрез (для каждого модуля). Для чистовой обработки применяют комплект из 15-ти чистовых фрез, передний угол $\gamma = 0^\circ$.

Для черновой обработки применяются *острозаточенные фрезы*, их заточка производится по задней поверхности, что уменьшает диаметр фрезы. Инструмент изготавливается модулем 4мм и выше; профиль зуба – трапециевидальный, материал P9.

Для чистовой обработки применяются *затылованные фрезы*. Их заточка производится по передней грани. Профиль фасонный не искажается, материал P18, 9XC.

В условиях массового производства применяют для нарезания зубчатых колес *зубодолбежную резцовую головку*, работа которой основана на методе

копирования (рис. 2.5). Головка имеет столько радиально расположенных фасонных резцов, сколько впадин (зубьев) у нарезаемого колеса. Контур этих резцов точно соответствует форме впадин нарезаемого зубчатого колеса.

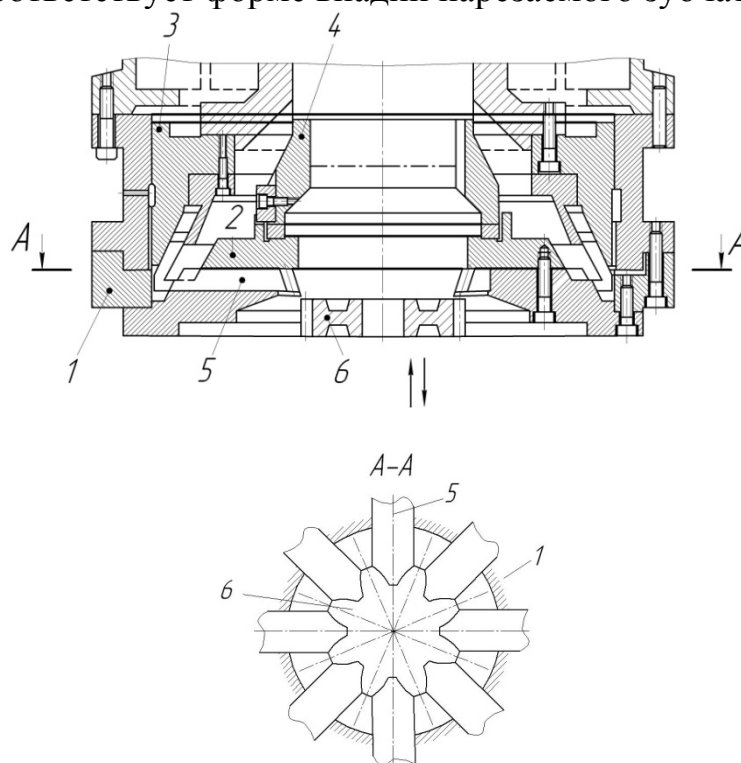


Рис. 2.5. Зубодолбежная головка для нарезания цилиндрических зубчатых колес

Эти головки имеют диск *1* с прямоугольными пазами, число которых равно количеству впадин зубьев на нарезаемом колесе. В эти пазы устанавливаются взаимозаменяемые резцы *5* и затем к диску привертывают кольцо *2*. Во время работы заготовке *6* сообщают возвратно-поступательное перемещение в вертикальном направлении, а резцам – периодическое радиальное движение подачи, при котором они постепенно приближаются к центру. Резцы прорезают впадины, когда заготовка движется вверх. Перед началом каждого двойного хода заготовки резцы сближаются. К началу движения заготовки вниз резцы разводятся так, чтобы устранить их трение с обрабатываемой поверхностью. Радиальную подачу резцов осуществляют кольцом *3*; когда нужно подать резцы к центру, его опускают (кольцо внутренним конусом перемещает резцы). Раздвигают резцы перемещением кольца *4* вверх.

Обработка всех впадин зубчатого колеса производится одновременно и заканчивается после подачи резцов на полную глубину впадин.

При работе такими многорезцовыми головками производительность, по сравнению с производительностью при работе на обычных станках, увеличивается в 8–10 раз.

Применение многорезцовой головки исключает применение делительного механизма, что упрощает конструкцию станка.

К недостаткам этого способа относятся сложность изготовления резцовой головки и необходимость иметь для каждого зубчатого колеса отдельную резцовую головку.

Другим высокопроизводительным способом нарезания зубчатых колес является *протягивание*, которое оправдывает себя только в условиях массового производства зубчатых колес. Этот способ позволяет получать зубья высокой чистоты и точности.

Методом копирования зубчатые колеса могут обрабатываться на универсальных консольно-фрезерных станках, зубодолбежных и протяжных.

Метод обката. При методе обката (огибания) заготовка и зубонарезной инструмент воспроизводят движения пары сопряженных элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого инструменту придается форма зубчатого колеса, зубчатой рейки или червяка.

Эвольвентную кривую AB зуба, опишет точка A , принадлежащая прямой CC (рис. 2.6, а), если эту прямую перекачивать без скольжения по неподвижной окружности F . Отрезок DE , будет касаться эвольвентной кривой во всех положениях прямой CC . Это означает, что эвольвентная кривая в данном случае будет огибающей ряда последовательных положений отрезка DE , перемещающегося вместе с прямой AC .

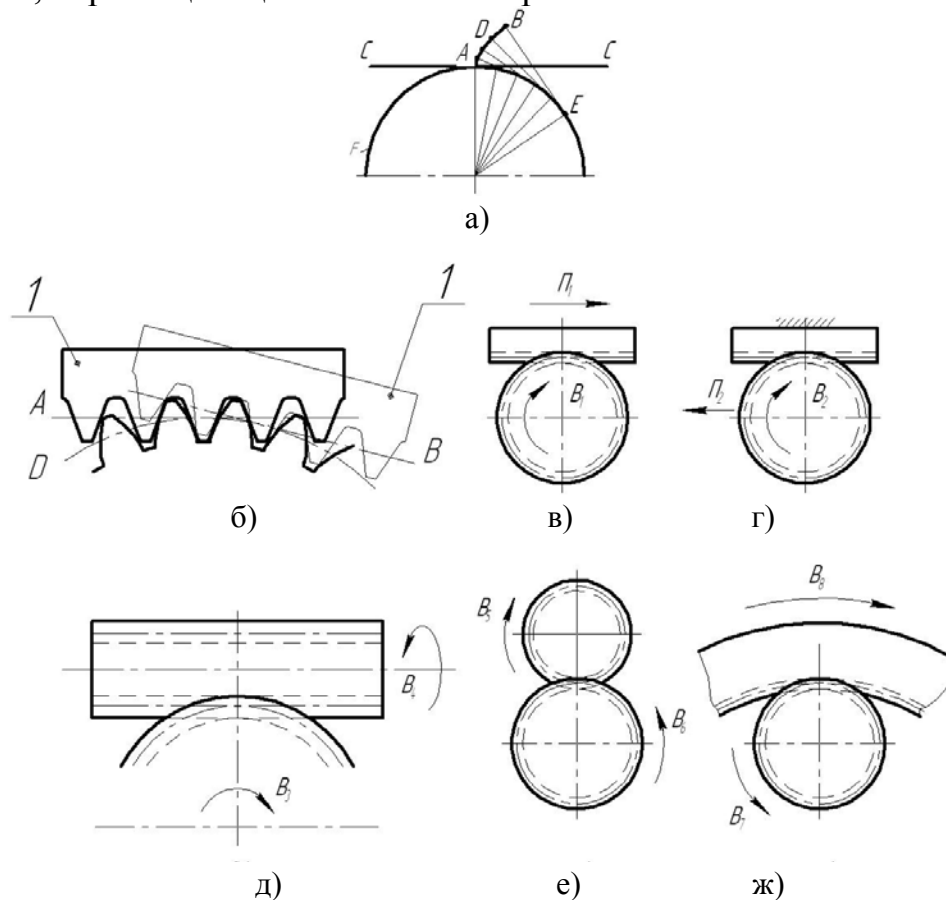


Рис. 2.6. Схемы зубонарезания методом обкатки

Для образования профиля зуба цилиндрических колес методом обката исходной рейке 1 с прямолинейным производящим контуром AB (рис. 2.6, б) сообщают движение качения относительно нарезаемой заготовки (по делительной окружности D).

Образуемый таким способом профиль зуба является огибающей положений производящего контура. Это исполнительное движение формообразования профиля зуба является сложным и осуществляется в станках двумя элементарными взаимосвязанными движениями. Возможны схемы нарезки зубьев при движениях $П_1$ и $В_1$ (рис. 2.6, в) или при движениях $П_2$ и $В_2$ (рис. 2.6, г). Вариант относительного движения гребенки при неподвижной заготовке в практике не используется, так как в этом случае усложняется конструкция станка.

Если рейки размещены на цилиндре так, что производящие контуры располагаются по винтовой линии, то режущая рейка становится червячной фрезой, и исполнительное движение формообразования состоит из двух вращательных движений $В_3$ и $В_4$ (рис. 2.6, д).

В качестве производящего контура, кроме зуба рейки, можно использовать также зубчатые цилиндрические колеса. Тогда исполнительное движение образуется из двух взаимосвязанных вращательных движений $В_5$ и $В_6$ (рис. 2.6, е) при нарезании колес с внешним зацеплением и $В_7$, $В_8$ при нарезании колес с внутренним зацеплением (рис. 2.6, ж).

ГЛАВА 3

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ

На зубофрезерных станках зубонарезающим инструментом является червячная фреза, представляющая собой цилиндр, на котором нарезаны винтовые витки. Вдоль оси фрезы, перпендикулярно виткам прорезаны канавки. От пересечения этих канавок с витками образуются зубья фрезы, профиль которых в осевом сечении имеет форму трапеции, т. е. профиль зубьев рейки. Если фрезу подвести к заготовке и придать ей вращательное движение, то режущие кромки зубьев фрезы будут вырезать впадины между зубьями колеса, осуществляя одновременно обкатку зубьев по эвольвенте, как при зацеплении рейки с колесом. Зубья колеса обкатываются в результате последовательного перемещения прямолинейного профиля зубьев колеса, пока последние не выйдут из зацепления (рис. 3.1).

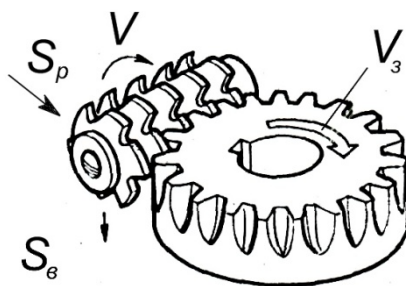


Рис. 3.1. Нарезание зубьев цилиндрического колеса червячной фрезой

Рассмотрим также нарезание червячных колес и цилиндрических косозубых колес при осуществлении радиальной и тангенциальной подач.

При нарезании червячных колес ось фрезы устанавливают перпендикулярно оси вращения заготовки (рис. 3.2), при этом в станке должны быть обеспечены основные движения: главное вращательное движение фрезы V ; вращательное движение изделия (заготовки) V_z ; движение радиальной S_p (рис. 3.2, а) подачи. Радиальная подача прекращается при достижении полной глубины фрезерования. При тангенциальной подаче S_m (рис. 3.2, б) фрезу устанавливают сразу на полную глубину фрезерования, а врезание фрезы в заготовку производится перемещением ее вдоль собственной оси.

Способ зубофрезерования с радиальной подачей отличается более высокой производительностью. Однако при этом способе число прорезов, приходящихся на один зуб, сравнительно мало и поэтому не достигается высокая точность. К тому же, при радиальной подаче фреза работает лишь небольшим участком своей линии, вследствие чего и изнашивается

неравномерно; это также влияет на точность профиля зубьев нарезаемого колеса.

При нарезании цилиндрических колес червячную фрезу устанавливают таким образом, чтобы витки фрезы, обращенные в сторону заготовки, при обработке колес с прямыми и косыми зубьями устанавливались вдоль оси впадины (рис. 3.3, а, в) зубьев.

Если направление витков фрезы и зубьев нарезаемой шестерни одинаково, т. е. оба правые или оба левые, тогда ось шпинделя нужно повернуть на угол $\beta - \beta_1$ к горизонтали, где β – угол наклона зубьев шестерни к ее оси, β_1 – угол подъема витков червячной фрезы (рис. 3.3).

Если направление витков фрезы и нарезаемой шестерни разные, тогда ось шпинделя (фрезы) нужно повернуть в вертикальной плоскости на угол $\beta + \beta_1$ к горизонтали (рис. 3.3, б).

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

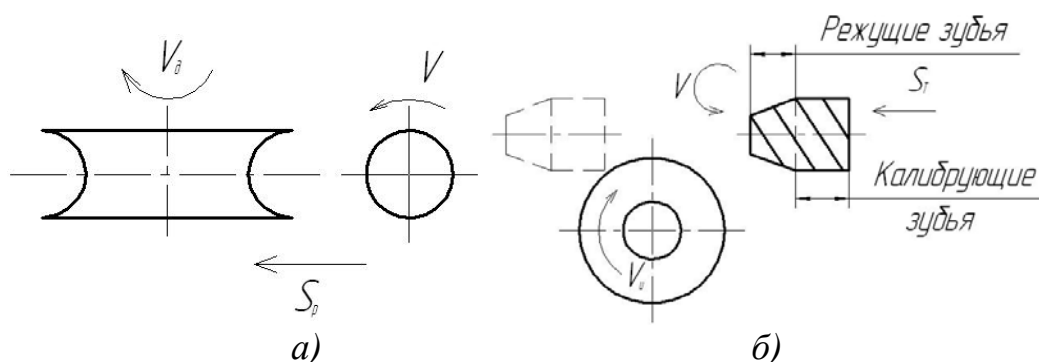


Рис. 3.2. Нарезание зубьев червячного колеса:
а – с помощью радиальной подачи; б – с помощью тангенциальной подачи

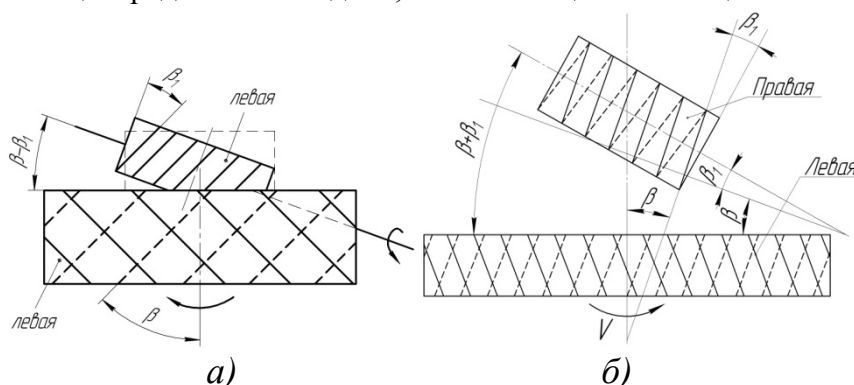


Рис. 3.3. Нарезание косых зубьев на цилиндрическом колесе: а – направления витков фрезы и заготовки одинаковые; б – направления витков фрезы и заготовки разные

Тангенциальная подача возможна лишь при наличии у суппорта специальной конструкции, позволяющей сообщать фрезе автоматическое осевое движение, например, у станка модели 5Д32.

При нарезании колес методом тангенциальной (осевой) подачи применяют червячную фрезу с так называемым заборным конусом, у которой режущие зубья расположены на конической ее части, а калибрующие - на цилиндрической.

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

3.1. Способы установки заготовок на станке

От точности установки зубчатого колеса на станке зависит точность нарезания зубьев. Потому при установке заготовок на столе зубофрезерного станка необходимо обеспечить в пределах заданных полей допусков:

1) совпадение оси базового отверстия (или оси вала заготовки) с осью вращения стола;

2) перпендикулярность базового торца заготовки к оси вращения стола.

При креплении заготовки опорные поверхности ее следует располагать как можно ближе к месту приложения сил резания, чтобы обеспечить надежное крепление заготовки, исключая смещение или перемещение ее под действием сил резания.

Точность установки заготовки проверяется индикатором по посадочному (базовому) отверстию (или шейкам вала), либо по наружной поверхности заготовки (т. е. по радиальному биению заготовки), а также по биению базового торца заготовки, которое, как правило, указывается на чертеже детали.

Радиальное биение заготовки может быть вызвано: несоосностью наружного диаметра с отверстием заготовки; несовпадением оси внутреннего отверстия заготовки и базовой поверхности с осью вращения стола. Первое не оказывает существенного влияния на точность нарезания колеса, так как в этом случае делительная окружность зубчатого колеса и базовая поверхность концентричны.

Радиальное биение, вызванное несовпадением оси базовой поверхности с осью вращения стола, должно быть минимальным и не должно превышать величин, указанных в табл. 3.1.

Торцовое биение заготовки Δ , вызванное неправильной установкой ее на столе станка (перекосом подставок, наличием забоин, попаданием стружки или грязи под опорную поверхность заготовки), не должно превышать следующих допустимых величин (табл. 3.2), где δ – допустимое радиальное

биение заготовки по наружному диаметру в мкм; D_6 – диаметр окружности, на которой проверяется биение, в мкм; b – ширина нарезаемого колеса в мм.

Таблица 3.1. Радиальные биения обрабатываемых заготовок

Степень точности колеса по ГОСТ 1643-56	Наибольшее радиальное биение в мкм при обработке заготовок диаметром в мм				
	до 200	до 800	до 1200	до 2000	до 4000
6	20	35	50	70	100
7	35	60	80	130	200
8	50	80	100	150	250
9	110	180	220	300	500

Способ крепления заготовки зависит от размеров, конструкции и требуемой точности нарезаемого колеса. На рис. 3.4 показаны типовые способы крепления заготовок на зубофрезерных станках.

Таблица 3.2. Торцовое биение обрабатываемой заготовки

Степень точности нарезаемого колеса по ГОСТ 1643-56	6	7	8	9
Торцовое биение, Δ	$0,15 \delta D_6/b$	$0,2 \delta D_6/b$	$0,25 \delta D_6/b$	$0,3 \delta D_6/b$

Колеса небольших размеров, имеющие базовое отверстие, закрепляют по одному (рис. 3.4, а) или пакетом (рис. 3.4, б) на жесткой оправке, которая поддерживается кронштейном задней стойки станка. Крупные и средние колеса устанавливают на литых чугунных подставках в виде стоек или колец (рис. 3.4, в). Валы-шестерни на горизонтальных станках закрепляют одним концом в приспособлении, другим в люнете. Вращение заготовка получает от планшайбы станка через корпус приспособления и съемный хомутик.

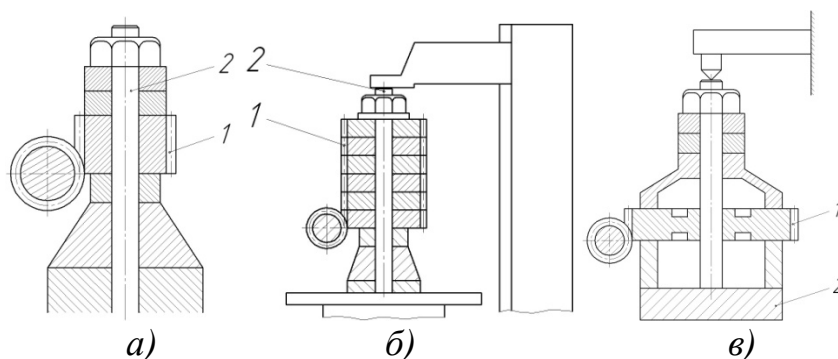


Рис. 3.4. Типовые способы крепления заготовок на зубофрезерных станках

Радиальное и торцевое биение оси вращения стола (оправки) замеряется (рис. 3.5, а) у торца стола и на длине от него $L=200-500$ мм.

Радиальное биение оси вращения стола относительно оси вращения шпинделя производить индикатором, как показано на рис. 3.5, б, оно не должно превышать 30 мкм.

Выводы: при работе по методу обката один и тот же инструмент определенного модуля может нарезать колеса с любым числом зубьев того же модуля, в том числе и корригированные.

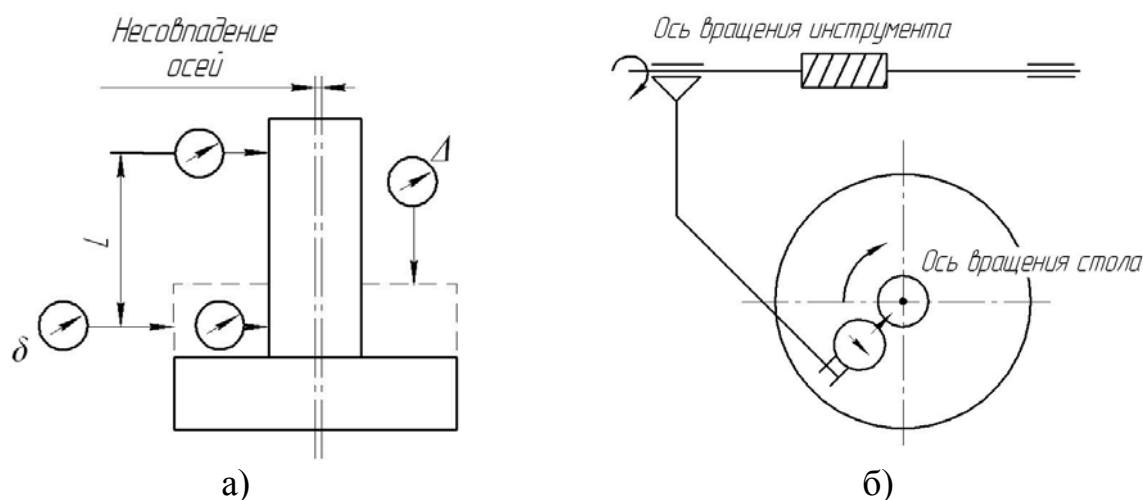


Рис. 3.5. Контроль радиального биения оси вращения стола и биения шпинделя относительно заготовки

Уступая в производительности методу копирования при работе зубодолбежной головкой или протяжками, метод обката более универсален, поэтому широко применяется в промышленности.

В условиях массового и серийного производства наибольшее распространение получил метод обработки на основе взаимодействия следующих кинематических пар:

- 1 зубчатое колесо – зубчатое колесо (зубодолбежные станки);
- 2 червяк – червячное зубчатое колесо, (зубофрезерные станки);
- 3 шестерня – рейка (зубострогальные станки).

ГЛАВА 4

КИНЕМАТИКА СТАНКОВ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

4.1. Зубофрезерные станки

В парке зубообрабатывающего оборудования зубофрезерные полуавтоматы являются наиболее распространенным типом станков. Это объясняется главным образом тем, что они обладают сравнительно высокой производительностью и, вместе с тем, универсальностью при достаточно высокой точности обработки.

Зубофрезерные станки [1, 4] предназначены для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми винтовыми зубьями наружного зацепления, а также червячных колес. Некоторые модели зубофрезерных станков допускают нарезание зубчатых (шлицевых) валиков.

Все зубофрезерные станки, несмотря на большое разнообразие типоразмеров, работают принципиально одинаково, используется метод обката (рис. 4.1); для этого заготовке и инструменту (червячной фрезе) сообщаются такие взаимосвязанные вращательные движения, которые выполнялись бы червяком и червячным колесом червячной передачи. Заготовка жестко связывается с делительным червячным колесом, получающим вращение от червяка.

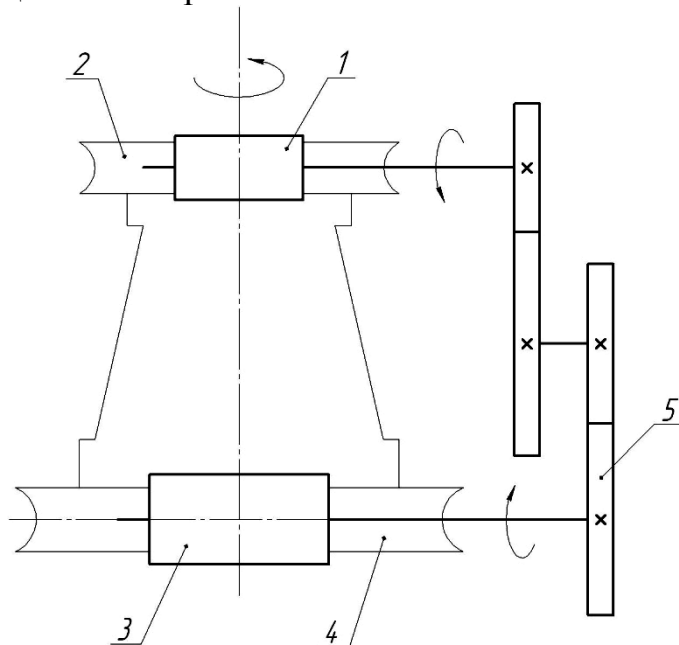


Рис. 4.1. Цепь обката зубофрезерного станка:
1 – червяк; 2 – нарезаемое колесо; 3 – червяк; 4 – червячное колесо;
5 – сменные колеса гитары обката

Построение типовой структуры формообразующей части зубофрезерного станка

Рассмотрим построение типовой структуры формообразующей части зубофрезерного станка для наиболее сложного вида обработки – нарезание цилиндрического колеса с винтовым зубом червячной фрезой.

На рис. 4.2, а, б представлена схема движений формообразования. Для нарезания цилиндрического колеса с винтовым зубом червячной фрезой необходимо создать два движения формообразования. Первым движением $\Phi_v (B_1, B_2)$ образуется профиль зуба, им же обеспечивается делительный процесс. Это движение обката, оно создается двумя элементарными движениями: B_1 – вращение фрезы и B_2 – вращение стола с заготовкой. Вторым движением $\Phi_s (П_3, B_4)$ – движением подачи образуется форма зуба по длине, по винтовой линии. Это винтовое движение создается двумя элементарными движениями: $П_3$ – прямолинейным движением фрезы вдоль заготовки и B_4 – вращением заготовки.

Построение формообразующей структуры станка начнем с построения внутренней кинематической связи для реализации движения $\Phi_v (B_1, B_2)$. Эта внутренняя кинематическая связь называется цепью деления. Для этого соединяем шпиндель фрезы со столом станка жесткой кинематической связью, которая при любом вращении шпинделя фрезы заставляет вращаться и стол с соответствующей скоростью, настраиваемой гитарой деления i_x , при которой соблюдается условие: 1 об. фрезы – k/z об. заготовки (рис. 4.2, б). Для обеспечения вращения внутренней кинематической цепи $\Phi_v (B_1, B_2)$ с заданной скоростью к ней присоединяют через внешнюю кинематическую связь двигатель D_1 .

Обе эти связи создают сложное движение обката (рис. 4.2, в).

Теперь произведем построение кинематических связей, обеспечивающих движение $\Phi_s (П_3, B_4)$. Так как стол получает два независимых движения B_2 и B_4 в схеме размещают суммирующий механизм (дифференциал), имеющий два входных звена (точки 5 и 7) и одно выходное (точка 6) (рис. 4.2, г), на котором и создается сумма или разность двух элементарных движений B_2 и B_4 . Соединяем стол станка через суммирующий механизм с винтом вертикального перемещения фрезерной бабки. Эта внутренняя связь называется цепью дифференциала – она связывает вертикальный ходовой винт со столом, через гитару дифференциала i_y . При этом расчетные перемещения настройки можно записать как $T_{mm} \rightarrow 1 \text{ об. заг}$, где T – шаг нарезаемой резьбы.

Если к этой внутренней связи присоединить уже построенную группу, то получим промежуточную схему, из которой видно, что внутренние связи обеих групп проходят через дифференциал Σ (рис. 4.2, д).

Для построения первого, более простого варианта схемы зубофрезерного станка возьмем случай, когда кинематическая цепь подачи имеет свой отдельный двигатель D_2 , который присоединим к построенной схеме через внешнюю связь с гитарой подач i_s (рис. 4.2, е). Такую структуру имеет зубофрезерный станок модели 5312, встроенный в автоматическую станочную линию для изготовления зубчатых колес (созданную в ЭНИМСе).

Этот вариант структуры является наиболее простым. Его недостаток: на станке можно получить только минутную подачу.

Для создания оптимальной подачи на оборот шпинделя приходится перенастраивать как гитару скоростей, так и гитару подач, что усложняет эксплуатацию станка. Кроме того, станок с двумя двигателями стоит несколько дороже.

Если двигатель D_2 отсоединить, а отрезок внешней связи присоединить к внутренней связи кинематической цепи движения $\Phi_v (B_1, B_2)$ через точку 9, расположенную около стола, то кинематическая схема станка становится более компактной (рис. 4.2, ж), она обеспечивает постоянство заданной подачи на оборот (чем скорее вращаем стол, тем будет больше минутная подача, а обратная подача будет постоянной).

Поэтому именно такая структура применяется на многих зубофрезерных станках, она стала типовой. Такую типовую структуру станка имеют наиболее распространенные серийные зубофрезерные станки завода «Комсомолец» модели 5Д32, 5Е32, 5К32 и большинство других зубофрезерных станков отечественного и зарубежного производства. В этих станках гитара деления i_x располагается на участке 4–6, что упрощает настройку станка.

Рекомендуется изучить кинематику зубофрезерного станка, которая наиболее наглядно показывает как принцип действия работы станка, так и взаимодействие его узлов и звеньев.

Кинематическая схема состоит из ряда кинематических цепей, связывающих отдельные движения узлов, механизмов и деталей станка. Рассмотрение каждой кинематической цепи в отдельности – это наиболее простой путь изучения работы станков.

4.2. Кинематика и настройка зубофрезерного станка

Станок модели 5Е32 является универсальным, предназначенным для фрезерования червячными фрезами цилиндрических прямозубых и косозубых, а также червячных колес диаметром до 800 мм и модулем до 8 мм по чугуны и до 6 мм по стали.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	8
Наибольший диаметр колес, мм.....	800
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм.....	280

Фрезерование зубчатых колес производится методом обкатки зубьев фрезы и обрабатываемой заготовки аналогично зацеплению червяка (фрезы) с червячным колесом (заготовкой). Цикл работы станка автоматизирован.

Обработка цилиндрических зубчатых колес может производиться фрезерованием методами «против подачи» (попутное фрезерование) и «по подаче» (встречное фрезерование).

Кинематическая схема станка приведена на рис. 4.3.

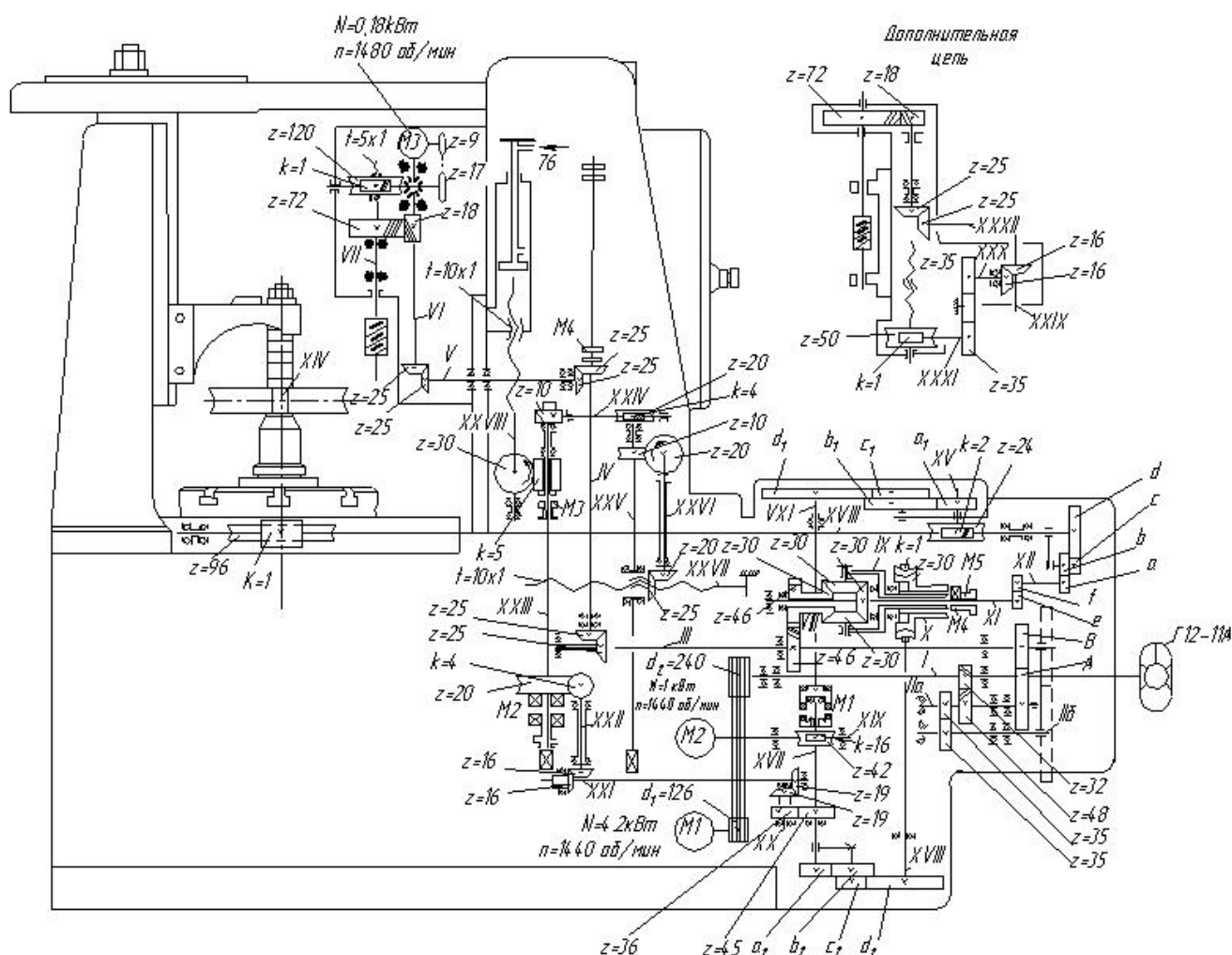


Рис. 4.3. Кинематическая схема зубофрезерного станка модели 5E32

Рассмотрим основные кинематические цепи станка. Цепь деления (движение Φ_v (B_1, B_2)).

Расчетные перемещения: необходимо, чтобы за каждый оборот фрезы обрабатываемое зубчатое колесо поворачивалось на K/z зубьев или на K/z

оборота, где K – число заходов винтовой линии червячной фрезы, z – число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса, т.е. 1 оборот фрезы $\rightarrow K/z$ оборотов заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{72}{18} \frac{25}{25} \frac{25}{25} \frac{25}{25} \frac{46}{46} (i_D = 1) \frac{e}{f} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{1}{96} = \frac{K}{z}.$$

При обработке прямозубых колес включена муфта M_4 , зубья которой соединяются с зубьями поводка IX , глухо соединяя последний с валом X . (поводок IX не вращается) от шестерни $z = 30$. Поэтому за каждый оборот вала $VIII$ вал XI поворачивается вместе с ним на один оборот, т.е. $i_D = 1$.

Из предыдущего уравнения получается следующая формула для нахождения чисел зубьев сменных зубчатых колес, установленных на гитару деления:

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

где $\frac{e}{f}$ – передаточное отношение сменных шестерен.

Сменные шестерни $\frac{e}{f}$ устанавливаются в зависимости от чисел зубьев на обрабатываемых изделиях: до 161 зуба – $\frac{e}{f} = 36/36 = 1$;
и

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

больше, чем 161 зуб $\frac{e}{f} = 24/48 = 1/2$, поэтому

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

Цепь скорости резания: привод осуществляется от электродвигателя $M1$.

Расчетные перемещения:

$$1440 \text{ об/мин. (эл. } M1) \rightarrow n_{фр} \text{ об/мин (фрезы).}$$

Уравнение кинематического баланса

$$1440 \frac{126}{240} \cdot \frac{32}{48} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{18}{72} = n_{фр},$$

откуда $\frac{A}{B} = \frac{n_{фр}}{126}.$

Число оборотов фрезы выбирается исходя из допустимой скорости резания V_ϕ

$$n_{фр} = \frac{1000 V_\phi}{\pi D_{фр}},$$

где $D_{фр}$ – наружный диаметр фрезы, мм; V_f – допустимая скорость фрезерования в м/мин.

Станок снабжен пятью парами сменных колес, при установке которых можно получать следующие числа оборотов шпинделя и фрезы:

$$n_{ВП} = 53,5; 62,5; 78; 102; 153; 202; 250 \text{ об/мин.}$$

Для изменения направления вращения фрезы зубчатое колесо A переставляется с вала IIa на вал $IIб$. И последний получает вращение через дополнительную зубчатую передачу 35/35 и поэтому вращается в обратную сторону. Одновременно с главным движением включается вращение пластинчатого насоса Г12-11А, подающего масло к цилиндру 76 гидравлического противовеса и в систему смазки [7, 9, 10, 11 и др.].

Число оборотов ротора насоса

$$n_1 = 1440 \cdot \frac{126}{240} \cdot 0,99 \approx 750 \text{ об/мин.}$$

Цепь дифференциала (движение Φ_5 (II_3, B_4)).

Расчетные перемещения: в кинематической цепи дополнительного вращения стола ведущим является винт XXVIII, который за время перемещения суппорта на величину шага винтовой линии нарезаемого колеса T мм должен сделать $T/10$ – оборотов (10 – это шаг винта в мм), а ведомым является стол станка, который за это время должен сделать один дополнительный оборот; таким образом T мм вертикального перемещения фрезы $\rightarrow 1$ об. заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{T}{10} \cdot \frac{30}{5} \cdot (M_3) \cdot (M_2) \cdot \frac{20}{4} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{36}{45} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{1}{30} \cdot (i_D = 2) \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{1}{96} = 1 \text{ об. заготовки}$$

При обработке косозубых зубчатых колес включается муфта M_5 , которая соединяет между собой зубья втулки X червячного колеса $Z30$, вращает их и поводок дифференциала; последний вращает вал XI с передаточным отношением $i_D = 2$.

Так как

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

получаем

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{TK}{25z} = 1,$$

откуда передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары цепи дифференциала равно

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

Так как у косозубых зубчатых колес задается не шаг T , а угол β наклона зубьев к образующей, то величину T в уравнении надо заменить значением шага T .

У косозубых зубчатых колес винтовые линии зубьев располагаются к образующей под углом β (рис. 4.4). Так как при помощи механических подач суппорт с фрезой могут перемещаться только вертикально, то относительное перемещение фрезы под нужным углом β в направлении зуба изделия может быть достигнуто только за счет ускорения (или замедления) вращения изделия во время его обработки.

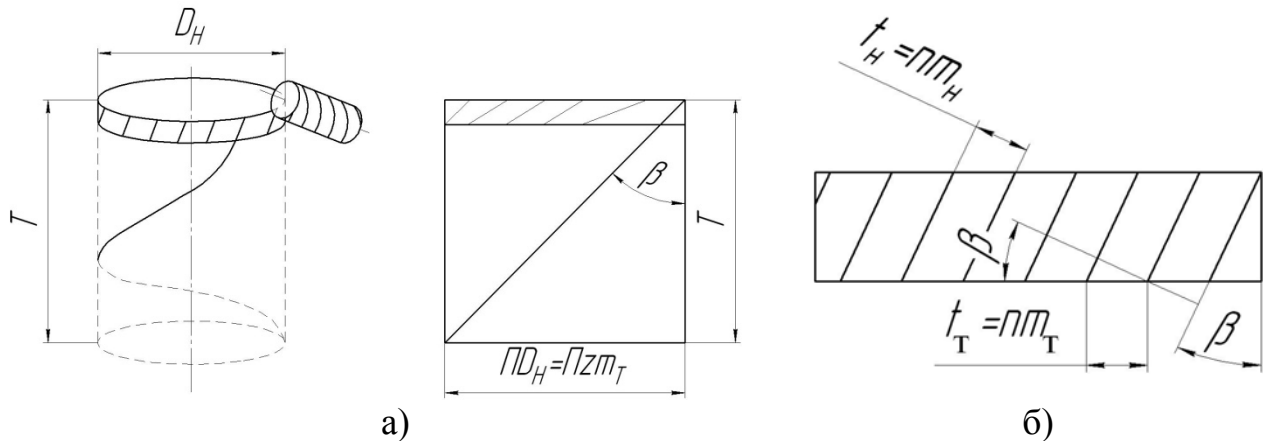


Рис. 4.4. Параметры косозубого колеса

Такое ускорение вращения изделия достигается путем дополнительного вращения стола через гитару дифференциала.

Необходимо чтобы за время перемещения суппорта на величину шага T фрезеруемой винтовой линии (см. рис. 4.4, а) стол совершил бы точно один дополнительный оборот.

Из рис. 4.4, а видно, что

$$\frac{\pi z m_T}{T} = \operatorname{tg} \beta,$$

где T – шаг винтовой линии косозубого колеса.

Отношение нормального и торцевого шагов (рис. 4.4, б)

$$\frac{t_H}{t_T} = \frac{\pi m_n}{\pi m_m} = \cos \beta,$$

где m_n нормальный модуль, m_T – торцевой модуль.

Откуда

$$m_T = \frac{m_n}{\cos \beta}.$$

Подставляя последнее выражение в ранее приведенное уравнение, получим

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi z m_H}{T \cos \beta} \text{ или } \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\pi z m_H}{T \cos \beta}.$$

Откуда

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

шаг винтовой линии

$$T = \frac{\pi z m_H}{\sin \beta}.$$

Подставляя значение T в уравнение для определения числа зубьев

$$\text{сменных колес, получим } \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{25z}{TK} = \frac{25z \sin \beta}{\pi z m_H K} = \frac{23 \sin \beta}{\pi m_H K},$$

или

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{7,95775 \sin \beta}{\pi m_H K};$$

Рассмотрим цепи подач (см. рис. 4.3). Вертикальная подача суппорта.

Расчетные перемещения: выбираем подачу в мм за один оборот изделия, т. е. 1 об. заготовки $\rightarrow S_8$ мм вертикального перемещения фрезы.

Подача суппорта осуществляется при включении муфт M_1 , M_2 и M_3 .

Кинематическая цепь вертикальных подач. Уравнение кинематического баланса:

$$I \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} (M_1) \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} (M_2)(M_3) \cdot \frac{5}{30} 10 = S_B.$$

Откуда получаем

$$I \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} (M_1) \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} (M_2)(M_3) \cdot \frac{5}{30} 10 = S_B$$

Радиальные подачи суппортной стойки осуществляются от стола станка при включении муфт M_1 и M_2 , а также падающего червяка $m = 4$ вала XXIV.

Кинематическая цепь радиальных подач:

Расчетные перемещения:

1 об. ст $\rightarrow S_p$ мм радиального перемещения фрезы.

Уравнение кинематического баланса:

$$I \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} (M_2) \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25} \cdot 10 = S_p;$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{5}{4} S_p$$

Осевая подача шпинделя *УШ* и фрезы может осуществляться только на станках модели 5Е32, снабженных протяжным суппортом, при включении муфты M_1 .

Расчетные перемещения:

1 об. заготовки $\rightarrow S_{oc}$ мм фрезы.

Уравнение кинематического баланса (с учетом дополнительной цепи):

$$1 \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} (M_1) \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{50} t = S_{oc};$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{5}{t} S_{oc}$$

Если $t = 5$, то получим

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = S_{oc}$$

Вертикальная, радиальная и осевая подачи выбираются по нормативам из таблиц режимов резания.

Цепь дифференциала с протяжным суппортом. Так как при обработке с осевой подачей фреза непрерывно перемещается в направлении своей оси, то необходимо заготовке дать такое же дополнительное перемещение, осуществляемое за счет дополнительного вращения стола через гитару дифференциала. За время перемещения фрезы на величину L обрабатываемое зубчатое колесо должно дополнительно повернуться по начальной окружности тоже на величину дуги, равную L , т. е. на L/m_{oc} оборота, где z – число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса, m_{oc} – стандартный осевой модуль обрабатываемого червячного колеса, L – тангенциальное перемещение фрезы.

В кинематической цепи дополнительного вращения стола ведущим является винт XXXII, число оборотов которого равно $L/5$, а ведомым является стол, дополнительное число оборотов которого (за время L/t об. винта XXXII) равно

$$\frac{L}{\pi m_{oc}}.$$

Расчетные перемещения:

L мм тангенциального перемещения фрезы $\rightarrow \frac{L}{\pi m_{oc}}$ об. заготовки.

Исходя из этого, записываем уравнение кинематического баланса цепи дополнительного вращения стола:

$$\frac{L}{t} \cdot \frac{50}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{36}{45} \cdot \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{1}{30} (i_d - 2) \frac{e}{f} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \frac{1}{96} = \frac{L}{\pi z m_{oc}}.$$

При обработке с осевой подачей червячных зубчатых колес на вал XI устанавливают муфту M_5 , поэтому $i_d=2$

4.3. Бездифференциальная настройка зубофрезерных станков

Косозубые колеса можно нарезать без включения механизма дифференциала (у некоторых моделей станков дифференциал отсутствует). В бездифференциальных станках вращение фрезы B_1 (рис. 4.2, а) должно быть согласовано с суммой двух элементарных вращений B_2 и B_4 .

Установим расчетные перемещения. В дифференциальных станках для настройки гитары деления связывают один оборот фрезы с $\frac{k}{z}$ оборотов заготовки, т. е.

1 оборот фрезы – $\frac{k}{z}$ оборотов заготовки.

Отсюда можно установить, что

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

Известно также, что при перемещении фрезы на величину l в вертикальном направлении с подачей фрезы S_B , стол с заготовкой при нарезании прямых зубьев совершит число оборотов, равное $\frac{l}{S_B}$.

Расчетные перемещения для нарезания прямозубых колес можно написать, исходя из следующей аналогии:

если 1 об. заготовки – $\frac{z}{k}$ об. фрезы,
то $\frac{l}{S_B}$ об. заготовки – $\frac{l}{S_B} \frac{z}{k}$ об. фрезы.

Это соотношение необходимо обеспечивать при нарезании прямозубых колес.

Известно, что при нарезании косозубых колес за время перемещения фрезы на шаг винтовой линии T мм заготовка должна сделать ещё 1 дополнительный оборот равный $K \frac{T}{S_B}$, исходя из расчётных перемещений:

T мм фрезы – 1 оборот заготовки.

За это же время, т. е. за 1 оборот заготовки фреза должна сделать, как установлено выше, $\frac{z}{k}$ оборотов. Следовательно, при нарезании косозубого колеса общее число оборотов фрезы за период ее перемещения на величину T

должно быть уменьшено или увеличено на величину $\frac{z}{k}$, т.е., при $l=T$, получим

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

Эти расчетные перемещения могут быть отнесены к одному обороту стола. Если правую и левую части их умножить на величину $\frac{S_B}{T}$, в этом случае расчетные перемещения представляются в виде

$$1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow \left(\frac{z}{k} \pm \frac{S_B}{T} \frac{z}{k} \right) \text{ оборот. фрезы.}$$

$$\text{или } 1 \text{ оборот заготовки} \rightarrow \frac{z}{k} \left(1 \pm \frac{S_B}{T} \right) \text{ оборот. фрезы.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$I \frac{96}{l} \frac{d}{c} \frac{b}{a} \frac{f}{e} (i_D = 1) \frac{46}{46} \frac{25}{25} \frac{25}{25} \frac{25}{25} \frac{18}{72} = \frac{z}{k} \left(1 \pm \frac{S_B}{T} \right);$$

откуда

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{24k}{z} \frac{T}{T \pm S_B}.$$

Как видно из этой формулы для расчета колес гитары деления при бездифференциальном нарезании косозубых колес, необходимо отношение колес гитары, рассчитанное для прямозубых колес, умножить на величину $\frac{T}{T \pm S_B}$.

Из формулы расчета сменных колес гитары деления замечаем, что параметры сменных колес зависят от величины вертикальной подачи, что является одним из существенных недостатков станков с бездифференциальной структурой.

Бездифференциальные станки используются в крупносерийных и массовых производствах, где режимы обработки постоянны. Они обладают большой кинематической точностью, что обусловлено более высокой крутильной жесткостью их.

Знак «плюс» берется при разноименных направлениях зубьев колеса и витков фрезы, знак «минус» – при одноименных.

4.4. Автоматическая передвижка фрезы

При обычном методе попутного или встречного зубофрезерования из нескольких десятков зубьев фрезы интенсивно изнашиваются только три-пять зубьев.

При нарезании стандартной червячной фрезой заготовок с числами зубьев около 40 зона резания в 2–3 раза меньше длины фрезы. Внутри зоны резания зубья фрезы нагружены крайне неравномерно.

Для более полного использования длины рабочей части червячной фрезы в станке 5Е32 предусмотрена периодическая осевая передвижка шпинделя. Такое перемещение способствует выравниванию износа фрезы и увеличивается ее стойкость на 50 %.

Для осевого перемещения шпинделя с фрезерной оправкой и червячной фрезой на суппорте станка установлен электродвигатель M_3 , от которого вращение передается цепной передачей через звездочки $z = 9$ и $z = 16$ на червячную передачу $\frac{1}{120}$. В ступице червячного колеса нарезана резьба. Электродвигатель осевого перемещения работает в период нажатия на кнопку, при освобождении которой он останавливается, и осевое перемещение фрезы прекращается.

При работе по полуавтоматному циклу в конце обратного хода суппорта включается электродвигатель M_3 , который производит передвижку шпинделя VII и фрезы со скоростью

$$V_{пер} = 1480 \frac{9}{16} \cdot \frac{1}{120} \cdot 5 = 32,8 \text{ мм/мин.}$$

4.5. Диагональное зубофрезерование

При диагональном зубофрезеровании [3] червячной фрезе сообщают одновременно две подачи – одну параллельно оси нарезаемого колеса, а другую вдоль оси фрезы, в результате чего фреза будет перемещаться по диагонали.

На рис. 4.5 показана схема зубонарезания с применением диагональной подачи, когда при нарезании каждого колеса или пакета колес используется вся длина червячной фрезы.

Найдем необходимую связь между вертикальным и осевым перемещением фрезы, для этого обозначим: S_v – вертикальная подача за оборот стола в мм/об.; S_0 – осевая подача за оборот стола в мм/об.; S_d – диагональная подача за оборот стола в мм/об.; L_p – рабочая длина фрезы, величину которой можно принимать равной $L_p = L - 0,6m$; L – длина нарезной части фрезы в мм; m – модуль зубчатого колеса в мм; B – ширина зубчатого колеса в мм.

При перемещении фрезы по наклонной линейке I из положения I в положение II на величину B заготовка сделает число оборотов равное

$$\frac{B}{S_B} = \frac{L_p}{S_0};$$

откуда

$$S_0 = S_B \frac{L_p}{B}.$$

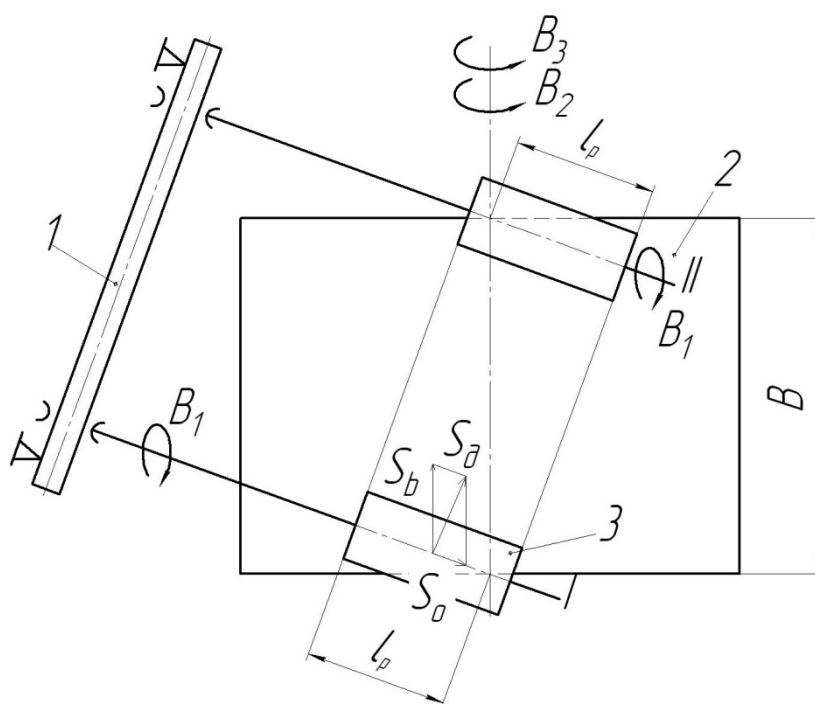


Рис. 4.5. Схема диагонального зубофрезерования:
1) наклонная линейка; 2) обрабатываемая заготовка; 3) червячная фреза

Величина вертикальной подачи выбирается по нормативным данным, величины L_p и B известны.

Необходимое соотношение между вращением фрезы и заготовки, вызванное осевым перемещением фрезы, обеспечивается настройкой гитар дифференциала и диагональной подачи.

При диагональном зубофрезеровании в работе участвуют почти все зубья фрезы. Это дает возможность перейти на повышение скорости резания и, тем самым, снизить машинное время нарезания зубчатого колеса.

Для осуществления диагонального зубофрезерования необходимо зубофрезерные станки оснащать универсальными суппортами, дающими возможность непрерывного осевого перемещения фрезе. Примерами таких станков, снабженных универсальными суппортами, можно назвать отечественные зубофрезерные станки модели 5К324 (рис. 4.6), а также станки ряда иностранных фирм, например, станки модели Р400, Р500 фирмы Пфаутер.

В зубофрезерных станках фирмы «Кливленд-Хоббинг» непрерывное осевое перемещение составляет десятые доли микрон за 1 оборот фрезы.

При настройке станка 5К324 на диагональный метод перемещения червячной фрезы необходимо, кроме гитар деления, вертикальной подачи и скорости резания, дополнительно настроить гитару осевой подачи и гитару дифференциала. Сущность настройки гитары осевой подачи фрезы состоит в том, что за время, когда фрезерный суппорт пройдет по вертикали путь, равный S_b , фреза вдоль оси должна переместится на величину S_o , таким образом, расчетные перемещения будут S_b мм/об. стола – S_o мм/об. стола.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОД.5К324

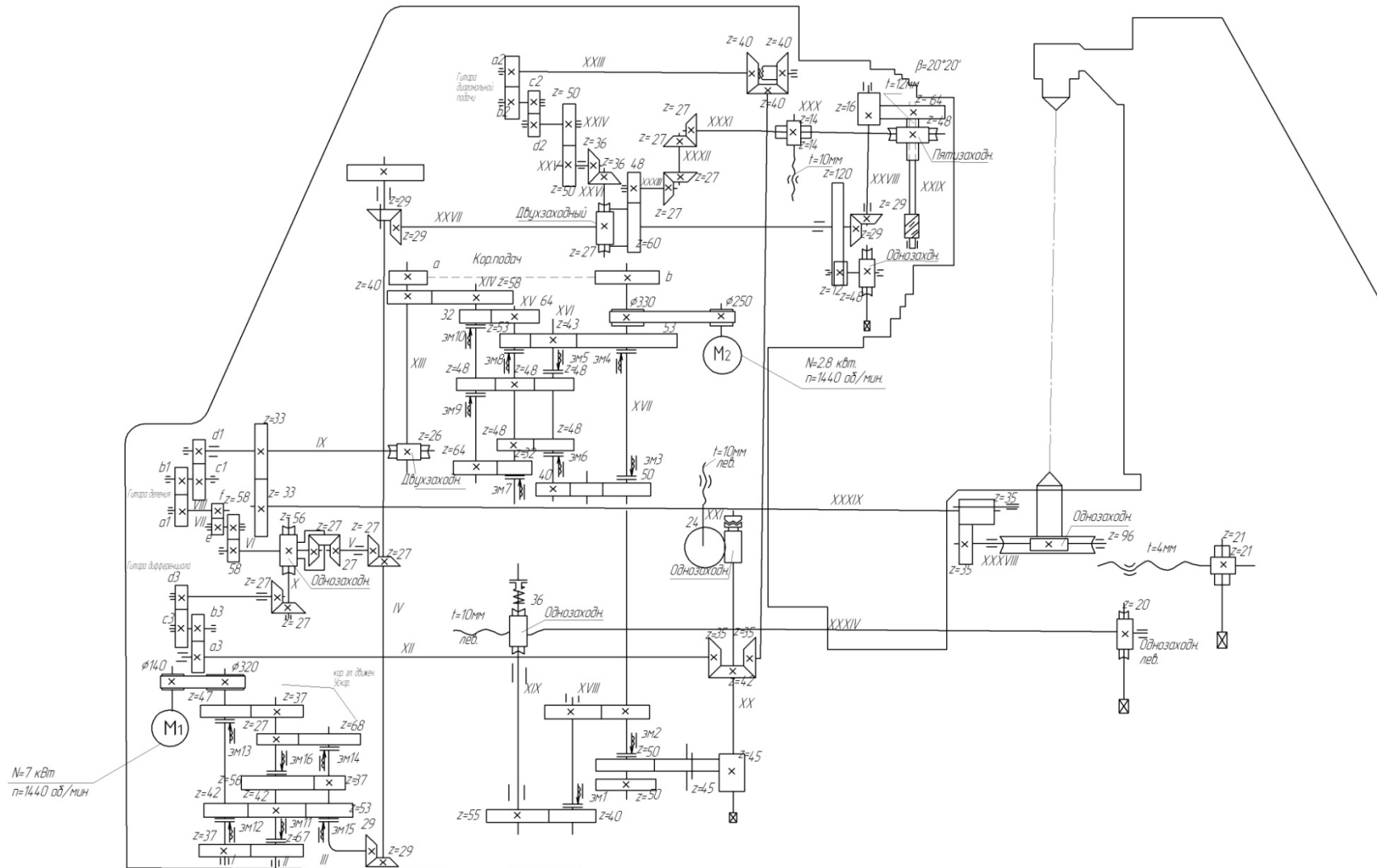


Рис. 4.6. Кинематическая схема зубофрезерного станка модели 5К324

Уравнение кинематического баланса для станка 5К324 имеет вид:

$$\frac{S_B}{10} \frac{24}{1} \frac{42}{35} \frac{40}{40} \frac{a_2}{e_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{50}{59} \frac{36}{36} \frac{2}{27} \frac{60}{48} \frac{27}{27} \frac{27}{27} \frac{5}{48} 12 = S_0.$$

Решая это уравнение, получим сменные колеса a_2 , c_2 , e_2 , d_2 и передаточное отношение

$$\frac{a_2}{e_2} \frac{c_2}{d_2} = i_d = 3 \frac{S_0}{S_B}$$

Подставляя в это уравнение значение осевой подачи $S_0 = S_A \frac{L_p}{B}$,

имеем

$$\frac{a_2}{e_2} \frac{c_2}{d_2} = 3 \frac{L_p}{B}$$

Второй дополнительной гитарой при настройке на диагональное зубофрезерование является гитара дифференциала.

Условие подбора сменных колес этой гитары при прямозубой передаче 16/64 можно сформулировать так: когда червячная фреза переместится на величину осевого шага, заготовка должна дополнительно повернуться на один зуб при однозаходной фрезе, а при многозаходной фрезе на k/z оборота.

Рассмотрим кинематическую цепь, связывающую перемещение ходового винта фрезерного суппорта с дополнительным вращением стола станка, записав расчетные перемещения этой цепи в виде t_0 мм – k/z об.заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{t_0}{12} \frac{48}{5} \frac{27}{27} \frac{27}{27} \frac{48}{60} \frac{27}{2} \frac{36}{36} \frac{50}{50} \frac{1}{i_d} \frac{40}{40} \frac{35}{42} \frac{42}{35} \frac{a_3}{B_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{27}{27} \frac{1}{36} \frac{2}{1} \frac{58}{58} \frac{e}{f} \frac{a_1}{B_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} = \frac{k}{z},$$

где t_0 – осевой шаг фрезы равный:

$$t_0 = \frac{\pi m_n k}{\cos \lambda} = \frac{t_n}{\cos \lambda},$$

где m_n – нормальный модуль в мм; λ – угол подъема витков фрезы.

Подставив в уравнение кинематического баланса значение сменных колес, получим:

$$\frac{a_1}{e_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{Z_f^e},$$

и решая его, получим выражение для настройки цепи дифференциала в виде:

$$\frac{a_1}{e_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{Z_f^e}$$

где i_0 – передаточное отношение гитары осевых диагональных подач.

При косозубой передаче 16/64 к конечному выражению последнего уравнения дополнительно необходимо прибавить слагаемое $\pm 0.0034i_0$, обусловленное дополнительными поворотами заготовки в связи с осевыми перемещениями фрезы от винта $t = 12$ мм и от дополнительного поворота винта косозубой передачи 16/64.

Окончательно получим:

$$\frac{a_3 c_3}{v_3 d_3} = \frac{7,95775 \cos \lambda i_0}{3m_n k} \pm 0,0034i_0$$

Покажем вывод последней формулы (см. рис. 4.7).

Косозубое колесо $z = 64$ получает два вращения (от двух приводов):

- 1) от вращения косозубой передачи $z = 64/64$;
- 2) от ходового винта $t = 12$ мм, который вращается и перемещается относительно суппорта червячного колеса $z = 48$.

При осевом перемещении червячной фрезы зубья колеса $z = 64$ скользят по винтовым зубьям колеса $z = 16$, вследствие чего колесо $z = 64$ получает дополнительный поворот; это скрытый дифференциал.

Пусть фреза переместилась в осевом направлении на величину осевого шага t_0 . Определим, какую долю оборота «х» при этом сделает шпиндель дополнительно от скрытого дифференциала.

Из развертки витка нарезки косозубой шестерни $z = 64$ по начальной окружности, получим (рис.4.8):

$$x = \frac{t_0 t_g \beta_1}{\pi D_h} = \frac{t_0 t_g \beta_1}{\pi m_0 z}.$$

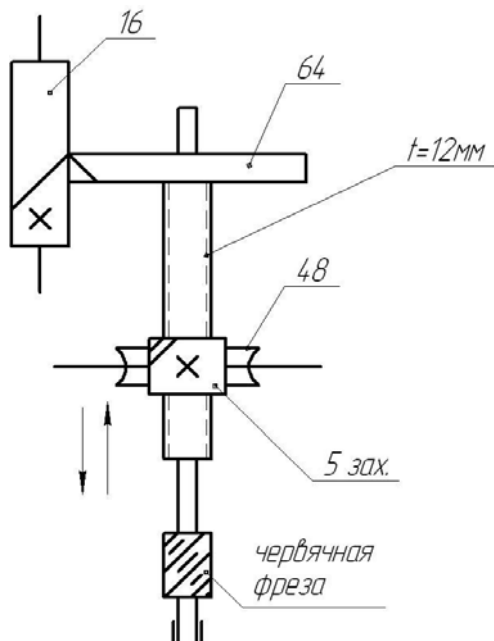


Рис. 4.7. К осевому перемещению фрезы

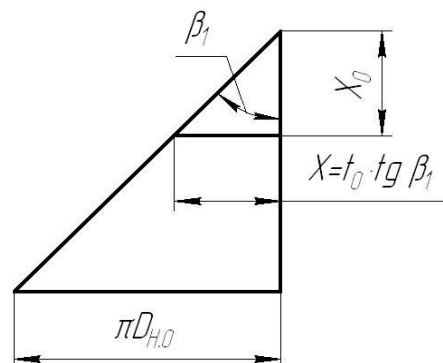


Рис. 4.8. Развертка витка нарезки косозубой шестерни $z = 64$

Подставляя значение угла винтовой нарезки $\beta=20^\circ 20'$, имея в виду, что

$$m_0 = \frac{m_H}{\cos \beta}, \quad m_H = 4, \text{ получим:}$$

$$x = \frac{t_0 0.345298}{3.14 \cdot 4 \cdot 84} \approx 0,00043 t_0.$$

Теперь определим, какую долю оборота должен сделать стол с заготовкой при дополнительном обороте фрезы $x \approx 0,00043 t_0$. Из соотношения:

$$1 \text{ оборот фрезы} - \frac{k}{z};$$

$$0,00043 t_0 - y,$$

определим дополнительную долю оборота заготовки:

$$y = 0,00043 t_0 \frac{k}{z} \text{ оборотов заготовки.}$$

Следовательно, расчетное перемещение цепи дифференциала в этом случае будет иметь вид:

$$t_0 \rightarrow \left(\frac{k}{z} \pm 0,00043 t_0 \frac{k}{z} \right) - \text{оборотов заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{t_0}{12} \frac{48}{5} \frac{27}{27} \frac{27}{27} \frac{48}{60} \frac{27}{2} \frac{36}{36} \frac{50}{50} \frac{1}{i_0} \frac{40}{40} \frac{35}{42} \frac{42}{35} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{27}{27} \frac{1}{36} \frac{2}{1} \frac{58}{58} \frac{e}{f} \frac{a_1}{B_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{33}{33} \frac{35}{35} \frac{1}{96} =$$

$$= \frac{k}{z} (1 \pm 0,00043 t_0).$$

Получим:

$$\frac{\pi m_H k}{\cos \lambda} \frac{3}{25} \frac{1}{i_0} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = 1 \pm 0,0004 \frac{\pi m_H k}{\cos \lambda};$$

откуда

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{(1 \pm 0,0004 \frac{\pi m_H k}{\cos \lambda}) \cos \lambda 25 i_0}{3 \pi m_H k},$$

или

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{7,95775 \cos \lambda i_0}{3 m_H k} \pm \frac{0,0004 \frac{\pi m_H k}{\cos \lambda} \cos \lambda 7,95775 i_0}{3 \pi m_H k}.$$

В итоге получим

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{7,95775 \cos \lambda i_0}{3 m_H k} \pm 0,0034 i_0.$$

Знаки в этой формуле зависят от направления вертикального и осевого перемещений фрезы. При нарезании цилиндрических косозубых колес

настройка цепи дифференциала следующая. Основная цепь дифференциала; расчет сменных колес производится по формуле, что и для станка 5Е32

$$i'_y = \frac{7,95775 \cos \beta}{m_n k}.$$

Общая цепь дифференциала:

$$i'_y = \frac{7,95775 \sin \beta}{m_n k} \pm \frac{7,95775 \cos \lambda i_0}{3 m_n k} \pm 0.0034 i_0,$$

где β – угол наклона зубьев нарезаемого колеса, λ – угол наклона витков фрезы.

4.6. Особенности встречного и попутного фрезерования

Нарезание колес может осуществляться как встречным методом, при котором вертикальная подача фрезы происходит сверху вниз (рис. 4.9, а-4.9, б), так и попутным методом, при котором вертикальная подача происходит снизу вверх (рис. 4.9, в).

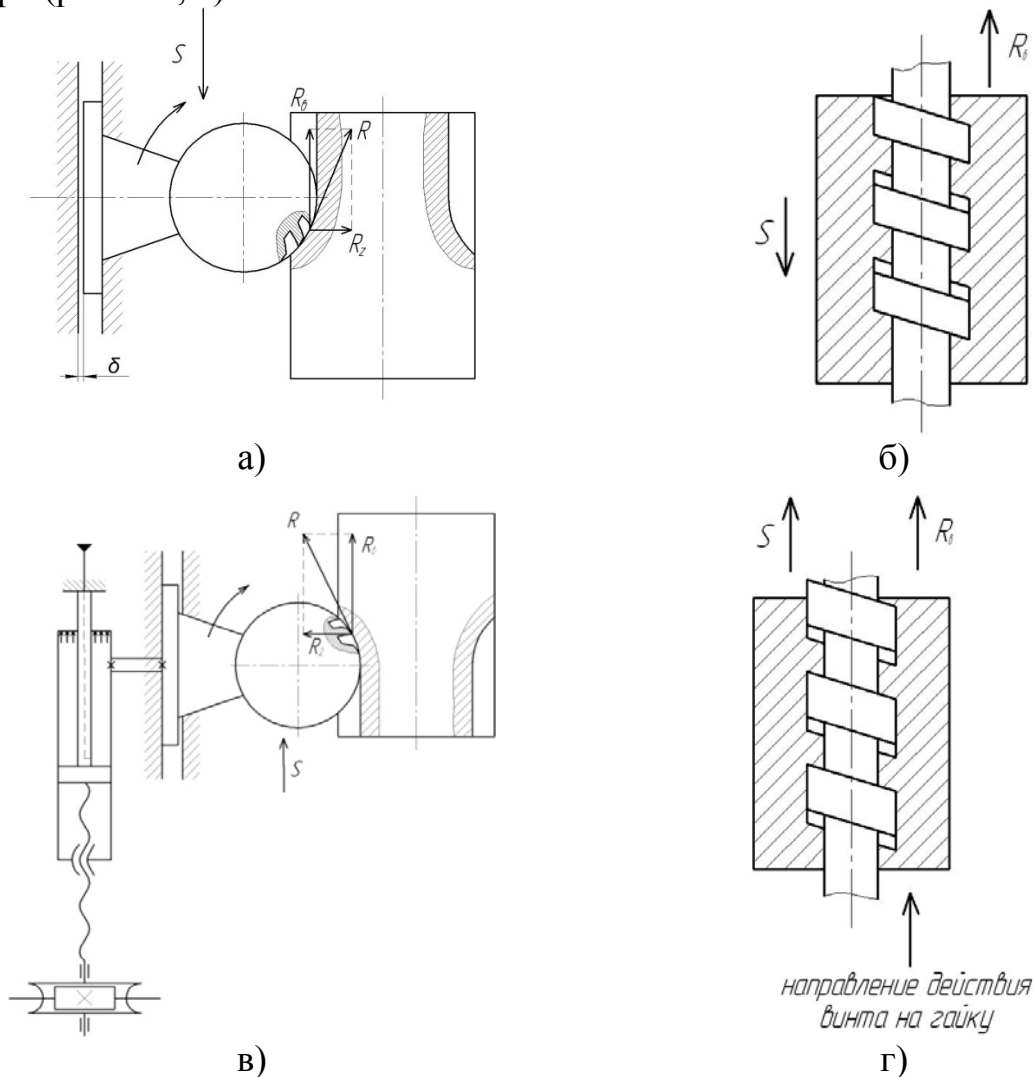


Рис. 4.9. Схемы зубофрезерования:

- а) встречное, б) винт перемещающий гайку суппорта вниз,
 в) попутное, г) винт перемещающий гайку суппорта вверх

Силу R давления металла на зубья фрезы можно разложить по двум направлениям: на горизонтальную силу R_z и вертикальную R_b . При встречном фрезеровании горизонтальная сила действует на фрезу в направлении от ее оси (рис. 4.9, а) и отжимает суппорт от направляющих стойки на величину δ , вследствие чего снижается жесткость и 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 (рис 4.9, в).

При попутном фрезеровании винт, перемещающий суппорт вверх, нажимает на верхние стороны витков гайки (рис. 4.9, г), а направление вертикальной силы совпадает с направлением подачи. В момент врезания зубьев фрезы в заготовку вертикальная сила увеличивается 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 применяется гидравлическое устройство, прижимающее гайку к винту (рис. 4.9, в). Устройство включает гидросистему с изменяемым объемом жидкости для выборки люфтов в узле перемещения суппорта зубофрезерного станка (рис. 4.10).

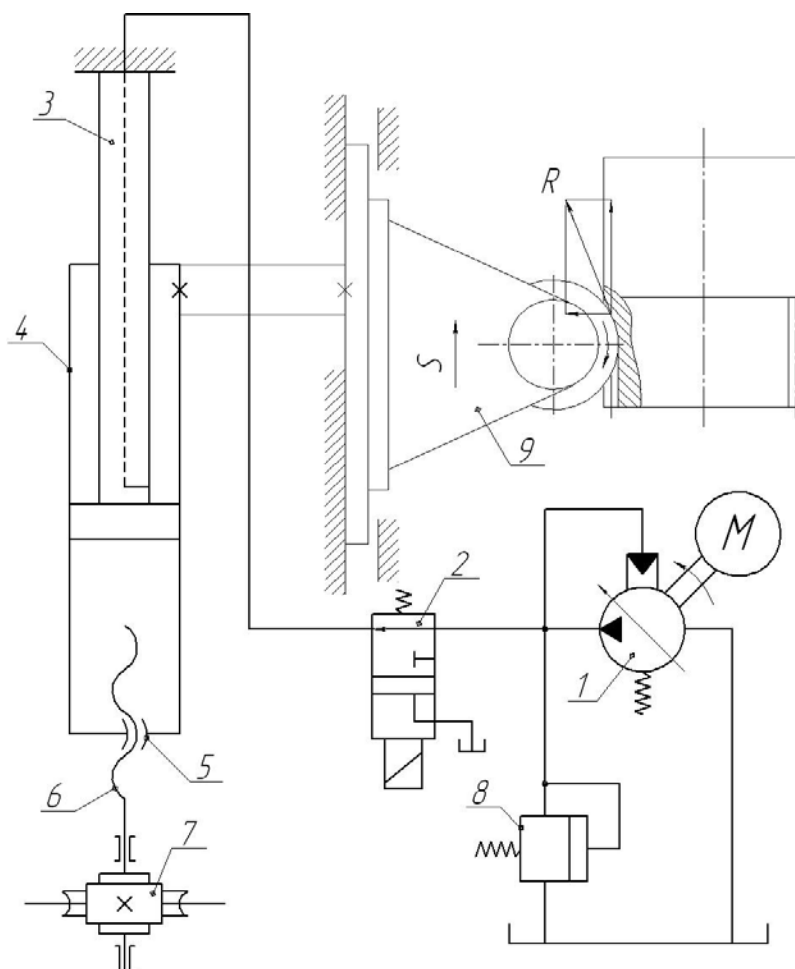


Рис. 4.10. Гидравлический привод для выборки люфта в винтовой передаче

Производительность регулируемого насоса I изменяется в зависимости от величины давления в напорной магистрали по линейной зависимости. В гидросистеме поддерживается оптимальная величина давления во всем диапазоне скоростей перемещения суппорта без дроселирования жидкости. Предохранительный клапан 8 при нормальной работе системы закрыт. В цилиндре в момент начала перемещения суппорта исключается влияние сил трения в винтовой передаче от давления жидкости при страгивании суппорта. Гидросистема работает с оптимальной мощностью насосной установки в широком диапазоне вертикальных подач.

Если станок имеет компенсирующее устройство, то попутное фрезерование имеет преимущество перед встречным, так как обеспечивает более высокую чистоту нарезаемых зубьев и позволяет работать на повышенных скоростях; допускается увеличение скорости резания на 20-25% по сравнению со встречным методом.

ГЛАВА 5

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКОВ

Зубодолбежные станки (полуавтоматы и автоматы) предназначены для нарезания цилиндрических зубчатых колес, наружного и внутреннего зацепления с прямыми и косыми (винтовыми) зубьями, боковых колес, колес с буртами, зубчатых муфт, реек, храповиков и т. д.

Зубодолбежные станки работают инструментом, имеющим форму зубчатой рейки, зубофрезерной головки (рис. 5.1, а), либо зубчатого колеса – зубофрезерного долбяка (рис. 5.1, б).

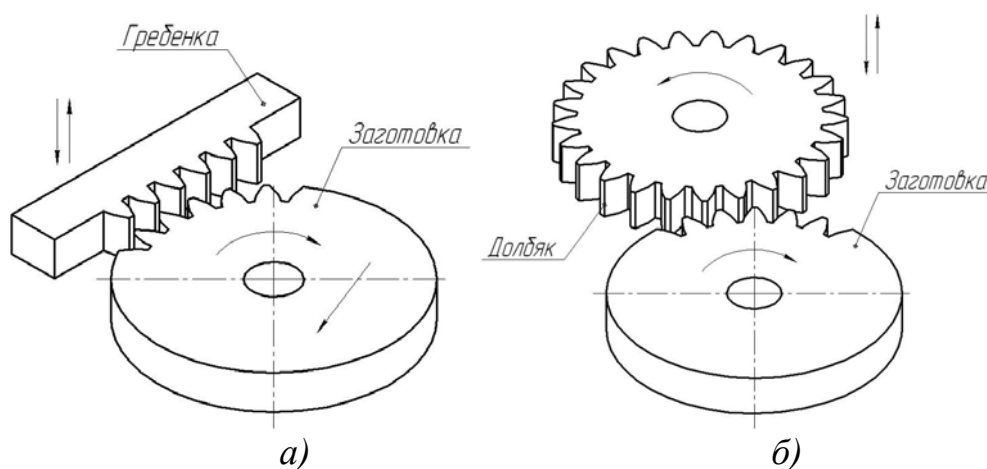


Рис. 5.1. Схемы нарезания зубьев: а) зуборезной гребенкой; б) долбяком

Станки первого типа называют чаще зубострогальными. Наибольшее распространение получили станки, работающие долбяком, как более производительные (в этих станках не прерывается процесс резания для деления заготовки) и более универсальные – на них можно выполнять все работы, которые производятся на зубофрезерных станках, за исключением нарезания червячных колес, а также нарезать колеса с внутренним зацеплением. Производительность этих станков ниже, чем зубофрезерных, однако они незаменимы при нарезании колес внутреннего зацепления практически любого диаметра, а также зубчатых блоков, в которых расстояние между венцами недостаточна для выхода фрезы.

Специфические области применения долбяков: нарезание зубьев «в упор» на блочных (многовенцовых) колесах и на колесах с буртами; нарезание колес внутреннего зацепления; нарезание шевронных колес с непрерывным зубом (без канавки для выхода инструмента); нарезание точных зубчатых реек методом огибания.

Для зубодолбежных станков, работающих долбяком, характерны следующие основные движения (рис. 5.2):

а) поступательное движение резания, совершаемое долбяком только в одну сторону (рабочий ход) V_p , и возвращение долбяка в исходное положение – холостой ход (V_x);

б) непрерывное вращение долбяка (V_1) и заготовки V_2 для осуществления круговой подачи (делительного движения). Скорости вращения долбяка и заготовки так взаимно согласованы с помощью сменных колес, что за один оборот долбяка заготовка делает $\frac{Z_d}{Z}$ оборота, где Z_d – число зубьев долбяка, а Z – зубьев нарезаемого колеса;

в) движение врезания (радиальная или врезная подача) $S_{вр}$ производится перемещением оси долбяка в направлении к оси заготовки при возвратно-поступательном движении долбяка и круговой подаче $S_{кр}$ после того, как долбяк врежется в заготовку на нужную глубину (т.е. на высоту зуба). Круговая подача и движение резания продолжают до тех пор, пока заготовка не совершит один полный оборот. За это время нарезание всех зубьев заканчивается, и станок автоматически выключается. Нарезание зубчатого колеса может производиться за один, два или три прохода;

г) отвод стола с заготовкой от долбяка или долбяка от заготовки происходит во время каждого холостого хода для предохранения режущих кромок от чрезмерного износа, а боковых поверхностей зубьев колеса от повреждений.

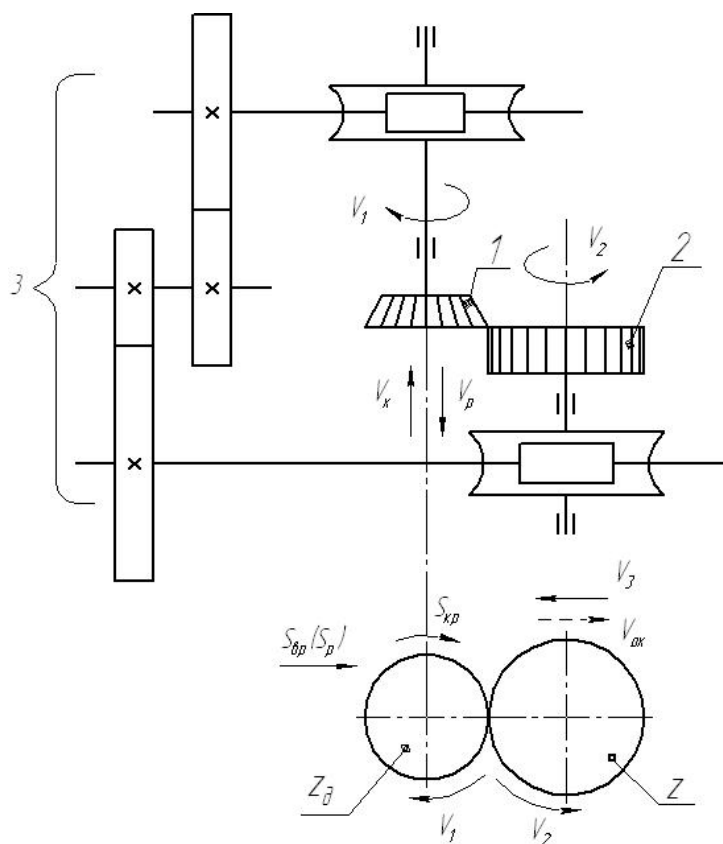


Рис. 5.2. Принципиальные движения механизмов в зубодолбежном станке

В зубодолбежных станках средних размеров от долбяка отводится стол с заготовкой. В станках тяжелого типа отвод заготовки сообщается штосселю с долбяком (станки 5140, 5В150 и др.)

Зубодолбежные станки выполняются с вертикальными или горизонтальными шпинделями. Станки с горизонтальным шпинделем, обычно работающие двумя долбяками, применяются для нарезания прямозубых и косозубых колес наружного и внутреннего зацепления, а также для нарезания шевронных зубчатых колес без средней канавки.

Наибольшее распространение получили зубодолбежные станки с вертикальным шпинделем, среди которых, кроме станков работающих долбяком, имеются также станки, работающие по методу копирования при помощи многорезцовой зубодолбежной головки.

Производительность зубодолбежных станков, работающих многорезцовыми головками, в 8–10 раз выше производительности обычных зубодолбежных станков и более, чем в 4 раза повышает производительность при зубофрезеровании.

5.1. Нарезание косозубых колес

Косозубые колеса нарезают косозубыми долбяками, при этом угол наклона зубьев долбяка должен быть равным углу наклона зубьев нарезаемого колеса, а направление их зубьев должны быть разноименными: правозаходные колеса должны обрабатываться левозаходными долбяками, левозаходные, наоборот – правозаходными (для нарезания колес с наружным зацеплением). Для нарезания колес с внутренними зубьями применяются долбяки с одноименным направлением зубьев: правое колесо нарезается правым долбяком, левое – левым.

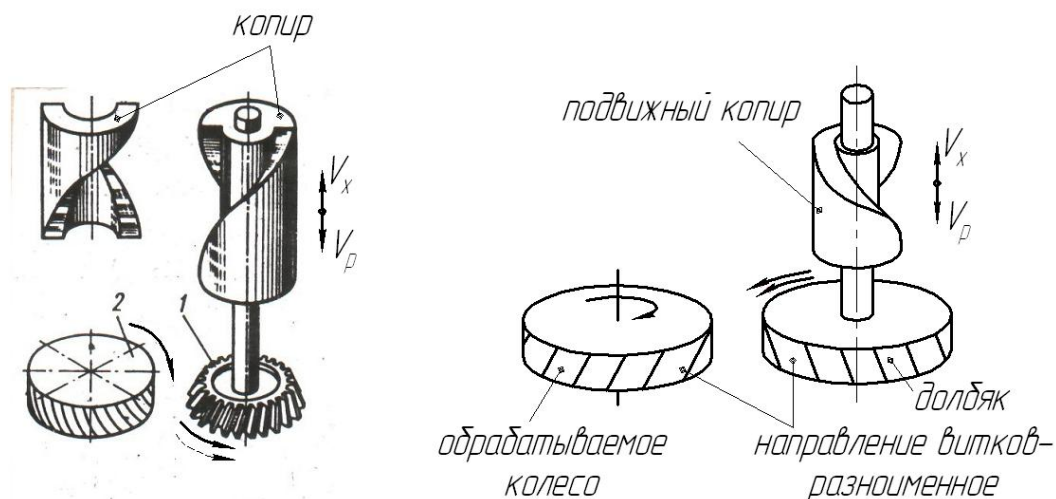


Рис. 5.3. Схема обработки косозубых колес

При нарезании косозубых колес долбяк, кроме возвратно-поступательных движений и вращательного движения подачи, должен совершать еще дополнительный поворот. Его задают долбяку винтовыми направляющими – копирами.

Недостатком этого способа нарезания косозубых колес является то, что с изменением угла наклона зубьев колеса должна изменяться как винтовая направляющая, так и долбяки.

Расчетные перемещения те же, что при нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями. Одна часть копирной втулки (рис. 5.3) крепится жестко к шпинделю долбяка, другая – крепится жестко к червячному колесу, которое сообщает долбяку медленное вращательное движение.

5.2. Зубодолбежный полуавтомат 514

Предназначение – нарезание прямозубых цилиндрических колес с наружным и внутренним зацеплением в индивидуальном и, главным образом, в серийном производстве.

На станках, снабженных винтовыми направляющими, на штосселе можно обрабатывать косозубые цилиндрические колеса.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	6
Наибольший наружный диаметр, мм	550
Наибольшая ширина венца, мм	105
Наибольший ход ползуна, мм	125

Обработка зубчатых колес на полуавтомате 514 ведется по принципу обкатки двух цилиндрических колес. Станок может работать в наладочном и полуавтоматическом режиме. Обработка на станке производится по автоматическому циклу, включая подвод и отвод детали к инструменту.

Кинематика полуавтомата 514 приведена на рис. 5.4.

1. Главное движение. Расчетные перемещения:

n об/мин. эл. дв $\rightarrow$ n дв. ход/мин.

Возвратно-поступательное движение долбяка осуществляется от кривошипного диска 1 (см. рис. 5.4) через кинематическую цепь:

Вал II вращает кривошипный диск I, на котором эксцентрично расположен кривошип 2. Он вызывает возвратно-поступательные движения с одновременным качением рейки 3, находящейся в зацеплении с реечным колесом $z = 26$, приводимым во вращение в одну и другую стороны. Реечное колесо $z = 26$, поворачивает вал III и одновременно другое реечное колесо $z = 26$, расположенное на другом конце вала III, которое находится в зацеплении с рейкой 5 ползуна XII и перемещает его возвратно-поступательно вверх и вниз. В ползуне размещен штоссель 4 с закрепленным на нем долбяком 6. Последний вращается, также имеет поступательное перемещение вместе с ползуном XII. За каждый оборот диска I происходит один двойной ход штосселя 4 и долбяка 6.

Длина хода долбяка:

$L = b + y$, где b – длина обработки зубьев, y – величина, даваемая на выход долбяку в обе стороны.

Число двойных ходов долбяка:

$$n = \frac{1000V}{2L} \text{ дв.ход/мин},$$

где V – допустимая средняя скорость резания в м/мин; n – число двойных ходов долбяка в минуту; L – длина хода долбяка.

2. Цепь деления и обкатки обеспечивает согласованное вращение долбяка и заготовки. В то время, пока долбяк поворачивается на один зуб, то есть на $1/z$ об., заготовка должна также повернуться на один зуб, т.е. на $\frac{1}{Z}$ оборота.

Расчетные перемещения: 1 об. долбяка $\rightarrow \frac{Z_d}{Z}$ или $\frac{1}{Z_d} \rightarrow \frac{1}{Z}$.

Исходя из этих расчетных перемещений для цепи, которая начинается от штосселя IV и заканчивается ползуном XII стола, уравнение кинематического баланса имеет вид:

$$\frac{1}{Z_d} \frac{100}{1} \frac{30}{30} \frac{30}{30} \frac{ac}{bd} \frac{1}{240} = \frac{1}{Z} \text{ об. заготовки.}$$

Отсюда $\frac{a}{b} \frac{c}{d} = 2,4 \frac{Z_d}{Z}$, где Z_d – число зубьев долбяка ($Z_d = \frac{100}{m}$), Z – число зубьев обработанного изделия.

На станке имеются следующие сменные шестерни (модуль 2,25мм):

20, 23, 24, 25, 26, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 43, 45, 47, 47, 50, 55, 58, 60, 62, 65, 70, 74, 80(2 шт.), 85, 90, 92, 95, 96, 97, 98, 100 и 120.

Рекомендуется число зубьев сменной шестерни C выбирать равным Z_d или $2Z_d$.

3. Движение круговой подачи – поворот долбяка за его двойной ход. Кинематическая цепь круговых подач должна быть построена сменными

шестернями $\frac{a_1}{b_1}$ так, чтобы за оборот вала II долбяк поворачивался по дуге делительной окружности на выбранную величину круговой подачи.

Расчетные перемещения:

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow S_{кр} \frac{\text{мм}}{\text{дв.ход}} .$$

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{28}{28} \frac{2}{23} \frac{28}{42} (M1) \frac{a_1}{b_1} \frac{1}{100} \pi m Z_D = S_{кр}$$

Отсюда

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{366 S_{кр}}{m Z_D}$$

Стандартный диаметр долбяка $m Z_D = 100$ мм. В этом случае:

$$\frac{a_1}{b_1} = 3,66 S_{кр}.$$

Можно установить любую из следующих шести круговых подач: $S_{кр} = 0,17; 0,21; 0,24; 0,3; 0,35; \text{ и } 0,44$ мм/дв.ход.

4. Движение радиальной подачи – движение долбяка в сторону заготовки до полной глубины нарезания происходит с помощью кулачка K , который, вращаясь, воздействует на ролик P , прикрепленный к винту и перемещающийся вместе с суппортом.

Под действием пружины (на рис. 5.4 не показано) ролик P винта XVIII все время стремится переместиться влево и поэтому прижат к профилю кулачка K .

Величина врезания зависит от способа обработки, которая может осуществляться в один, два или три прохода (рис. 5.5).

Расчетные перемещения:

$$1 \text{ дв.ход.долб.} \rightarrow S_p.$$

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{28}{28} \frac{a_1}{b_1} \frac{24}{48} \frac{1}{40} (M_2) \frac{2}{40} H = S_p ,$$

где $H = \frac{19,6 \cdot 360}{90}$ – подъем кулачка (рис 5.5,а). Откуда находим:

$$\frac{a_2}{b_2} = \frac{40}{40} \text{ при } S_p = 0,048 \text{ мм/дв.ход};$$

$$\frac{a_2}{b_2} = \frac{50}{50} \text{ при } S_p = 0,095 \text{ мм/дв.ход}.$$

Кулачек K работает от двух механизмов: от механизма радиальных подач и счетного механизма, предназначенного для контроля числа полных оборотов заготовки.

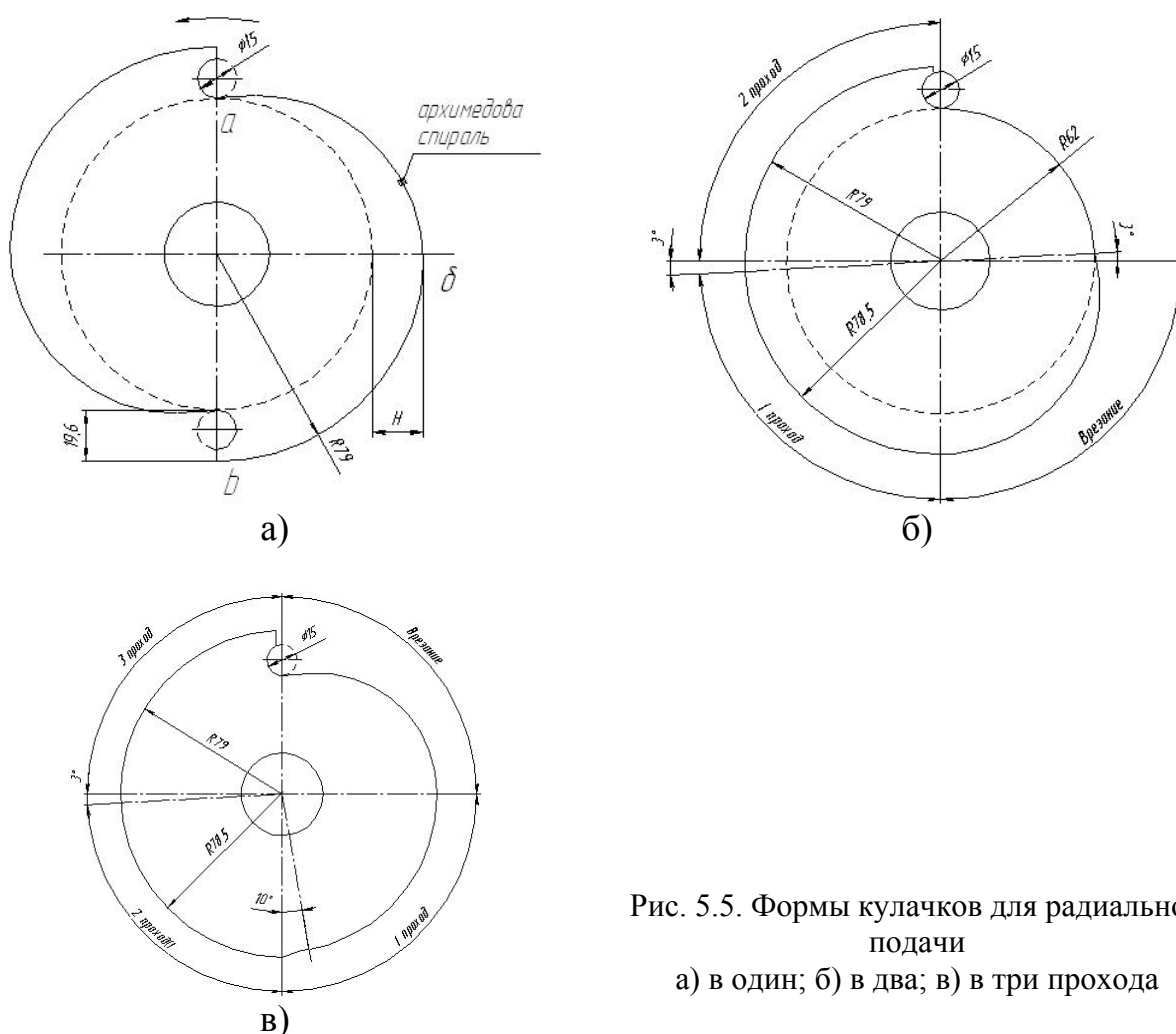


Рис. 5.5. Формы кулачков для радиальной подачи
а) в один; б) в два; в) в три прохода

От механизма радиальных подач кулачок K поворачивается только на $\frac{1}{4}$ оборота (во время подвода и вращения долбяка в тело заготовки). В остальное время кулачок K вращается от счетного механизма.

Подбор кулачка K производят в зависимости от принятого количества проходов и модуля обрабатываемого колеса: при $m \leq 1,5$ – один проход при $m < 3$ – два прохода и при $m > 3$ – три прохода

Отвод и подвод стола 2. Двойной ход долбяка происходит за полный оборот вала II и кулачка 7, сидящего на правом конце вала. В профиль кулачка упирается два ролика 8, установленных в рамке. Профиль кулачка 4 построен так, чтобы за каждый двойной ход долбяка 6 кулачок 7 опускал и поднимал роликами 8 тягу 9. Тяга 9 качает рычаг 10, и далее движение через кривошипно-шатунный механизм 11 передается тяге 12, которая отводит стол с заготовкой от долбяка. Это делается для того, чтобы при обратном ходе зубья долбяка 6 не касались заготовки.

Кинематическая схема зубодолбежного станка модели 5140 (рис. 5.6). Станок предназначен для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями с применением двухскоростного электродвигателя; снабжен гидроустройством для врезания долбяка в заготовку.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший диаметр нарезаемого колеса, мм.....	500
Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	8
Наибольшая ширина венца, мм.....	100

1. Главное движение – возвратно-поступательное движение долбяка.
Расчетные перемещения: n об/мин эл.дв. $\rightarrow n_{\text{дв.ход/мин}}$ долбяка.

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{д}} \frac{100}{140} i_{\text{к.с}} \frac{180}{355} = n_{\text{дв.ход}} \text{ долбяка},$$

где $i_{\text{к.с}}$ – передаточное отношение коробки скоростей.

Коробка скоростей обеспечивает шесть значений двойных ходов в минуту штосселя при чистовой и при черновой обработке, т. е. 12 ступеней в пределах от 65 до 450 дв. ход/мин.

На конце вала ХХI посажен кривошипный диск с устройством винтового регулирования положения кривошипа, который с помощью рычага соединен с реечным колесом, сообщаящим возвратно-поступательные движения штосселю.

2. Движение обкатки – обеспечивает согласованное движение долбяка и заготовки.

Расчетные перемещения: 1 об.долбяка $\rightarrow \frac{Z_{\text{д}}}{Z}$ оборотов заготовки, где $Z_{\text{д}}$ – число зубьев долбяка, Z – число зубьев нарезаемого колеса.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{90}{1} \frac{56}{46} \frac{46}{54} \frac{54}{36} i_x \frac{33}{33} \frac{32}{32} \frac{38}{56} \frac{1}{190} = \frac{Z_{\text{д}}}{Z},$$

где i_x – передаточное отношение сменных колес гитары обкатки.

Откуда

$$i_x = \frac{2Z_{\text{д}}}{Z}$$

3. Движение круговой подачи – поворот долбяка на его двойной ход.

Расчетные перемещения: 1 дв.ход долбяка $\rightarrow S_{\text{кр}}$ мм/ дв.ход долбяка.

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{350}{180} \frac{2}{24} \frac{44}{50} \frac{45}{40} \frac{40}{44} i_{\text{к.п}} \frac{36}{54} \frac{54}{46} \frac{46}{56} \frac{1}{90} = \frac{S_{\text{кр}}}{\pi D_{\text{д}}}.$$

Откуда

$$i_{\text{к.п}} = \frac{300S_{\text{кр}}}{D_{\text{д}}},$$

где $i_{\text{к.п}}$ – передаточное отношение коробки подач, $S_{\text{кр}}$ – круговая подача, мм/дв.ход долбяка, D – диаметр начальной окружности долбяка.

Круговую подачу устанавливают в диапазоне 0,14–0,7 мм/дв.ход долбяка.

4. Движение радиальной подачи обеспечивает перемещение заготовки в радиальном направлении для врезания до полной глубины зуба. Радиальная подача осуществляется от клиновой ползушки *а* (рис. 5.6), которая получает перемещение с помощью гидроцилиндра *б*. Величину радиальной подачи устанавливают дросселем в пределах 0,025 до 0,1 мм/ход.

Ускоренный подвод стола с заготовкой осуществляется гидроцилиндром *в*.

В станке имеется счетный механизм *СМ* для точного отсчета полного оборота стола. Счетный механизм дает команду на ускоренный отвод ползушки радиального врезания в исходное положение.

Муфтой обгона *М* пользуются при выверке радиального биения долбяка и заготовки.

ГЛАВА 6

НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС НА ЗУБОСТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Конические зубчатые колеса можно нарезать методом копирования на универсально-фрезерных и поперечно-строгальных станках. Однако точность конических колес, нарезанных на этих станках настолько низка, что ими пользуются лишь в крайних случаях, при отсутствии специальных зуборезных станков, работающих методом обката. Низка также и производительность указанных станков при использовании их для зубонарезания.

При методе копирования используют один или два резца, которые работают по копиру, а в станках тяжелого типа нарезают крупные конические колеса диаметром до 5000 мм и модулем до 40 мм.

Метод обката основан на воспроизведении в пространстве боковых поверхностей зубьев (воображаемого) плоского колеса с помощью режущих кромок фрез или резцов. Контурные прямолинейные режущие кромки представляют собой как бы два зуба воображаемого плоского колеса, с которым находится в зацеплении нарезаемое коническое колесо. Режущим кромок сообщается движение резания – вращательное или поступательное [2].

Поступательное движение резания используется в зубострогальных станках, в которых вследствие возвратно-поступательного движения резцов обеспечивается получение боковых поверхностей зубьев конического колеса. Последовательное положение резцов относительно зубьев при обкатке изображено на рис. 6.1. Для нарезания зубьев на полную высоту заготовка должна войти на глубину предварительно прорезанной впадины (рис. 6.1,а). Затем включается движение обкатки: вращение (по направлению Π_1) заготовки B_1 и вращение резцов (люльки) B_2 . Производится обкатка одного зуба (рис. 6.1,б); в конце обкатки (рис. 6.1, в) включается движение отвода Π_2 заготовки от резцов и производится поворот заготовки B_3 и люльки – B_4 в исходное положение. При этом заготовка должна дополнительно повернуться на очередной обрабатываемый зуб. Порядок обработки зубьев: 1–2–3–4 и т. д.

6.1. Зубострогальный полуавтомат 5А26

Он предназначен для чистового нарезания прямозубых конических колес с бочкообразным зубом. Колеса с бочкообразной формой зуба менее чувствительны к неточностям монтажа и влиянию деформации валов под нагрузкой и обеспечивают более бесшумную передачу.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший модуль обрабатываемого колеса, мм.....	50
Длина делительного конуса, мм	до 300
Наибольший диаметр делительной окружности, мм.....	500
Нарезаемое число зубьев	от 10 до 200

При чистовой обработке зубьев станок работает по методу обкатки двух конических колес, при черновой обработке люлька не вращается, а шпиндель поворачивается только в момент деления. Причем резцы строгают клиновидную впадину между зубьями.

На рис. 6.2 изображена схема нарезания конического колеса по методу обкатки. Вокруг оси OO_2 люлька 2 поворачивается попеременно то в одну, то в другую стороны, а вокруг оси OO_1 , также в обе стороны, вращается нарезаемое коническое колесо 1.

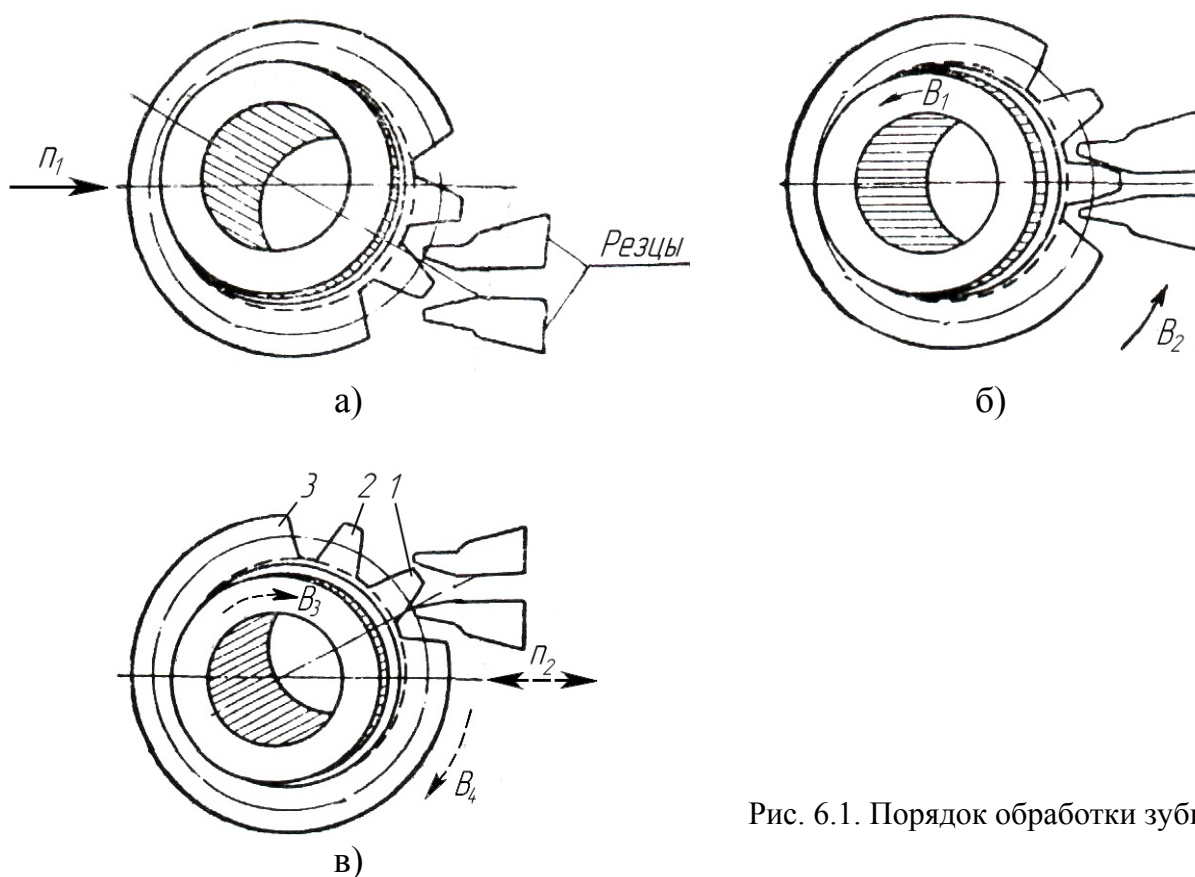


Рис. 6.1. Порядок обработки зубьев

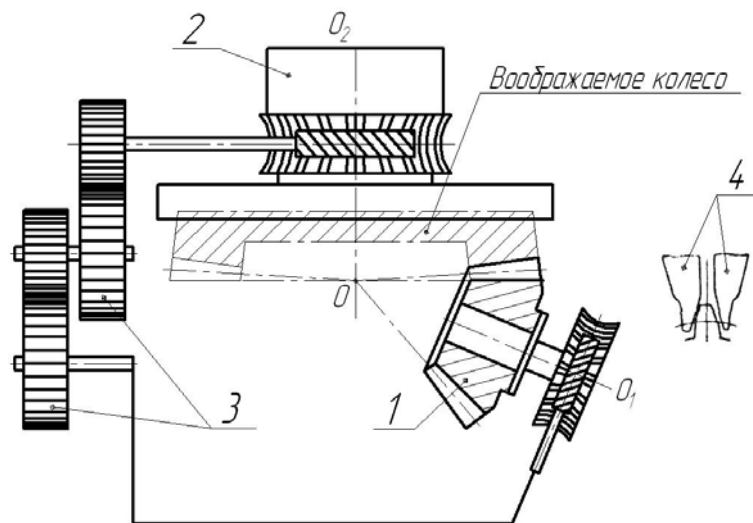


Рис. 6.2. Принципиальная схема нарезания конических прямозубых колес по методу обката

На люльке подразумевается посажено плоское (воображаемое) колесо для объяснения зацепления, а его роль выполняют два резца 4 с такими же профилями, как и зубья плоского колеса. Резцы устанавливаются в резцедержателе и поворачиваются вместе с люлькой вокруг оси OO_2 , так, как вращалось бы плоское колесо, и одновременно резцы перемещаются по торцу люльки от наружного диаметра к центру и обратно. Два резца образуют профиль впадины двух зубьев плоского колеса. При поступательном движении они прорежут зубья конического колеса, а одновременное вращение их вокруг оси люльки обеспечивают обкатку зубьев. Таким образом, резцы с прямолинейными профилями формируют эвольвентный профиль нарезаемых зубьев.

Процесс резания происходит при движении резцов к вершине конуса заготовки колеса; обратный ход резцов является нерабочим; резцы в это время отведены от заготовки, чтобы не задевать обработанные поверхности зубьев. Нагрузка на резцы во время работы распределяется неодинаково, так как один из резцов на каждом зубе врежется в заготовку и изнашивается быстрее другого. Для устранения этого недостатка окончательное нарезание зубьев производится после предварительного чернового прорезания впадин, во время которого с боковых поверхностей зубьев снимается стружка наибольшего сечения.

6.2. Кинематическая схема станка 5A26

Кинематическая схема станка 5A26 приведена на рис. 6.3.

1. Главное движение — возвратно-поступательное движение резцов осуществляется от электродвигателя M_1 ($N=2,2$ кВт, $n=1455$ об/мин). Расчетные перемещения: n об/мин эл.дв. $\rightarrow n$ дв.ход/мин.

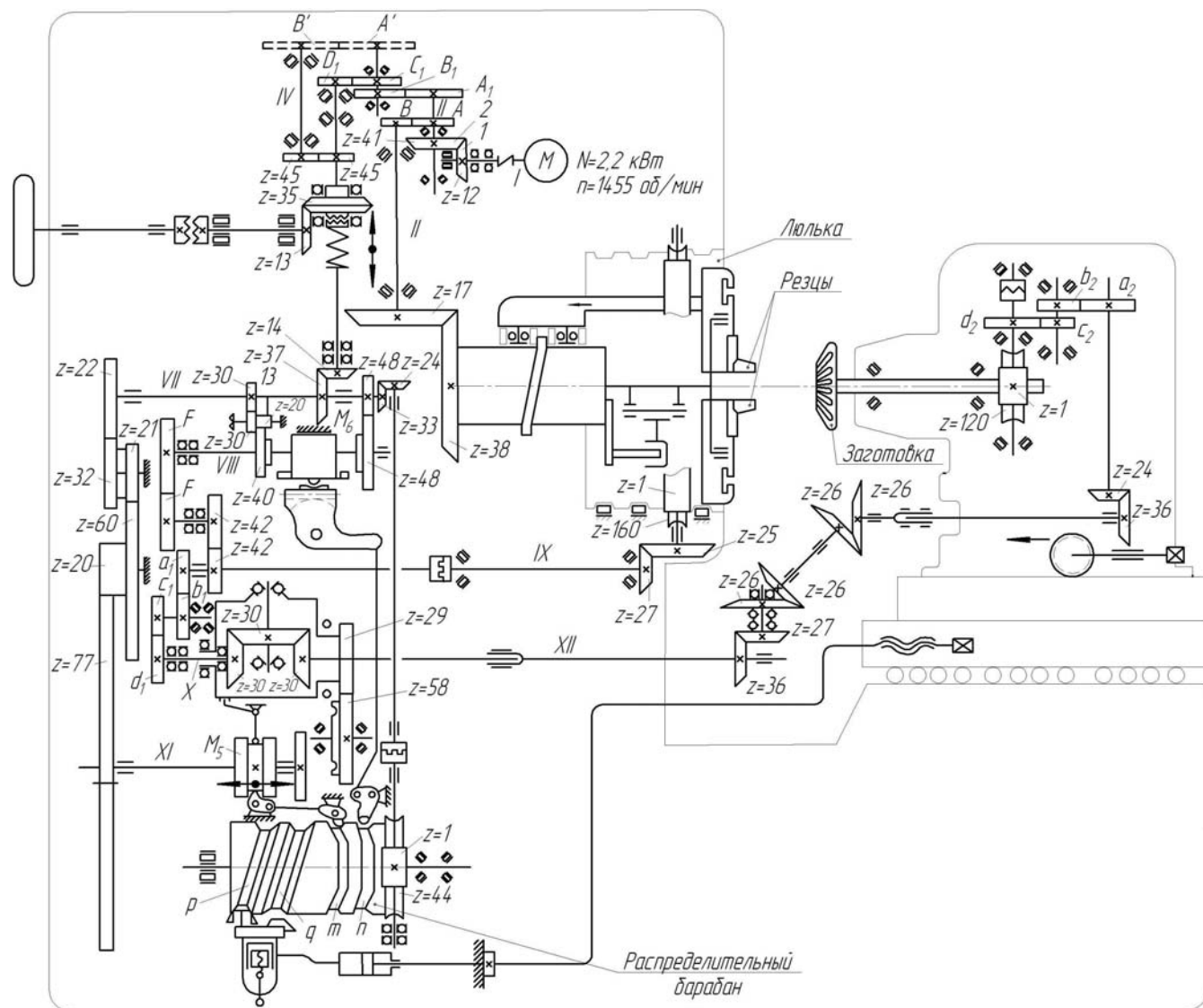


Рис. 6.3. Кинематическая схема зубострогального полуавтомата мод. 5A26

Уравнение кинематического баланса:

$$1455 \frac{12}{41} \frac{A}{B} \frac{17}{38} = n \frac{\text{Дв.ход}}{\text{мин}}; A+B=90.$$

Предусмотрено 8 пар сменных колес в пределах

$$\frac{A}{B} = \frac{20}{70} - \frac{45}{45}.$$

За счет смены этих зубчатых колес можно получить 14 ступеней скоростей (передачей $\frac{A}{B} = \frac{70}{70}$ не пользуются) с числом дв. ходов от 54 до 470 дв.ход./мин. Допустимое число n двойных ходов резцов в минуту: $n = \frac{1000V}{2L}$, где L – длина хода резцов, $L=1,1v$, v – длина зуба, V – скорость резания (находим из таблиц в паспорте станка 5A26 или по нормативным данным режимов резания).

При настройке механизма главного движения устанавливают нужную длину хода L , нужный участок хода резцов и нужное число двойных ходов резцов в минуту. Одновременно основания суппортов на направляющих корпуса люльки устанавливают и закрепляют так, чтобы вершина режущей кромки резца двигалась по линии DO (рис. 6.4, б), составляя с осью OO_1 зуба угол δ .

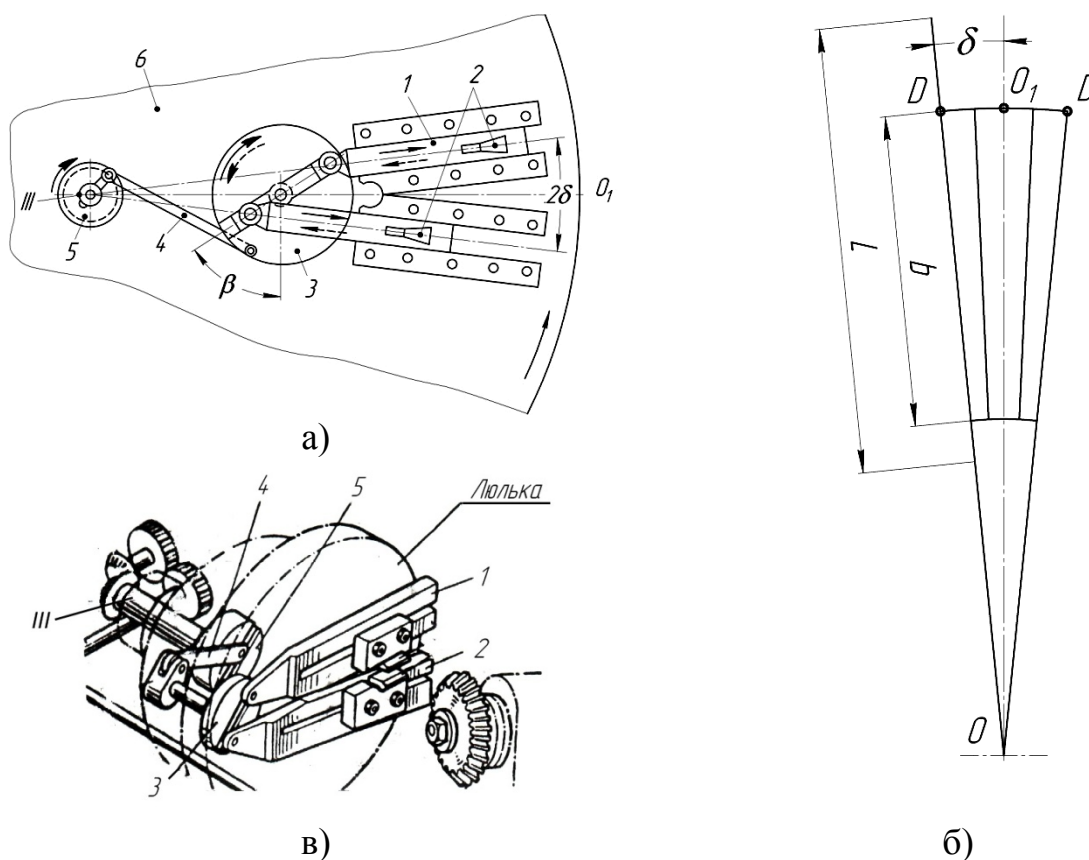


Рис. 6.4. Схема привода резцовых кареток

Движение от вала *III* передается кривошипному диску 5 (рис 6.4, а), который с помощью шатуна 4 сообщает качательные движения диску 3, смонтированному на планшайбе 6. В прямолинейном пазу диска 3 находятся ползуны, пальцы которых сведены с каретками (резцедержателями) 1, несущими резцы 2. Вращение диска 5 производится от электродвигателя (рис. 6.3) через конические зубчатые колеса 1, 2, сменные колеса *A*, *B* гитары скоростей и конические зубчатые колеса 3, 4.

2. Цепь подач – вращение барабана *P* подач.

Подачей на станке 5А26 условно называется время *t* в секундах, затрачиваемое на обработку одного зуба в течение одного оборота барабана *P*. Скорость вращения барабана регулируется с помощью шестерен гитары подач. Расчетные перемещения:

1455 об/мин эл.дв. → *n* об/мин барабана.

Уравнение кинематического баланса:

$$1455 \frac{12}{41} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{14}{37} \frac{33}{24} \frac{1}{44} = n \frac{\text{об}}{\text{мин}} \text{ барабана.}$$

Отсюда передаточное отношение сменных шестерен гитары подач при $n_{\text{бар}} = \frac{60}{t}$ равно:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{12}{t}.$$

В станке имеется 25 шестерен сменных колес модулем *m* = 2.5 мм:

Z = 20, 24, 26, 32, 35(2 шт), 39(2 шт), 42(2шт), 45 (2шт), 48(2 шт), 51(2 шт), 55(2 шт), 58, 62, 64, 66, 70.

Можно устанавливать время обработки каждого зуба в пределах от 7,6 до 114 сек.

За время обработки одного зуба, т.е. за каждый оборот распределительного вала VII, последний делает $1 \cdot \frac{44}{1} \frac{24}{33} = 32$ оборота.

Вращение распределительного вала используется для приведения в действие механизма качения люльки и механизма деления.

3. Механизм качения люльки. Качение люльки осуществляется от распредвала VIII. На барабане *P* имеется канавка *K*₂ по профилю которой перемещается ролик, поворачивающий зубчатый сектор 3С. Сектор 3С через рейку и кулачки включает вращение муфты *M*₆ либо через шестерни $\frac{30}{20}$,

$\frac{20}{40}$, либо через шестерни $\frac{48}{48}$. В первом случае за один оборот распределительного вала VII вал VIII делает 0,5 оборота, во втором случае – 1 оборот. Следовательно, рабочий ход люльки происходит в два раза медленнее холостого хода (при возврате люльки в исходное положение).

Профиль канавки *K*₂ рассчитан таким образом, что после десяти оборотов вала VIII сектор 3С переключает передачи.

Расчетные перемещения:

10 об вала VIII $\rightarrow \vartheta$ люльки.

Уравнение кинематического баланса

$$10(M_6) \frac{E}{F} \frac{42}{42} (M_7) \frac{27}{27} \frac{1}{162} = \frac{\vartheta^0}{360^0},$$

где ϑ – угол качения люльки в градусах

$$\frac{E}{F} = \frac{\vartheta^0}{24}; E+F=90 \text{ зубьев.}$$

Используется шесть пар сменных колес $\frac{E}{F} = \frac{24}{66} \div \frac{42}{48}$; за счет их можно получить $\vartheta = 8,7 \div 63^\circ$.

4. Кинематическая цель деления. Делением называется поворот заготовки на один зуб, т.е. на $1/z$ оборота перед началом обработки каждого следующего зуба, где z – число зубьев обрабатываемого изделия.

Деление осуществляется при повороте муфты M_5 мальтийского креста и вала XII на пол оборота.

За время обработки каждого зуба вал XI и муфта M5 делают два оборота

$$32 \frac{22}{32} \frac{21}{60} \frac{20}{77} = 2 \text{ об.}$$

Следовательно, за период цикла обработки каждого зуба изделия барабан P управления совершает 1 оборот, а муфта M_5 – 2 оборота.

Мальтийский крест через зубчатую передачу поворачивает корпус дифференциала на один оборот, при этом вал XII получает два дополнительных оборота.

Вследствие этих двух дополнительных оборотов вала XII осуществляется дополнительный поворот заготовки на $\frac{1}{Z}$ оборота.

Расчетные перемещения:

$$2 \text{ об. вала XII} \rightarrow \frac{1}{Z} \text{ об. заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$2 \frac{36}{27} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{36}{24} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} (M2) \frac{1}{120} = \frac{1}{Z} \text{ об.}$$

Отсюда находим передаточное отношение сменных колес гитары деления

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{30}{z}.$$

Гитара деления включает 61 колесо:

($m = 1.75$): $z = 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40$ (2 шт.), 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79 (2 шт.), 80, 82, 83, 86, 89, 91, 90, 97 и 100 зубьев.

5. Цель обкатки. Обкатка – качательные движения инструмента и заготовки, строго согласованные с качательными движениями люльки (во время поворота люльки снизу вверх).

В то время, пока люлька поворачивается на каждый зуб воображаемого производящего зубчатого колеса (на $\frac{1}{z_1}$ оборота), заготовка при помощи кинематической цепи обкатки должна повернуться точно также на один зуб т.е. на $\frac{1}{Z}$ оборота).

Расчетные перемещения:

$$\frac{1}{z_1} \text{ производящего колеса} \rightarrow \frac{1}{z} \text{ нарезаемого колеса.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{1}{z_1} \frac{162}{1} \frac{25}{27} (M_7) \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{30}{30} \frac{30}{30} \frac{36}{27} \frac{26}{26} \frac{26}{26} \frac{36}{24} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} (M_2); \frac{1}{120} = \frac{1}{z}.$$

Исходя из рис. 6.5, легко найти число зубьев z_1 воображаемого производящего зубчатого колеса.

Из треугольника AOB следует

$$\sin \varphi = \frac{AO}{OB} = \frac{r}{R / \cos \gamma} = \frac{\frac{mz}{2}}{\frac{mz_1}{2 \cos \gamma}} = \frac{z \cos \gamma}{z_1}.$$

Отсюда $z_1 = \frac{z \cos \gamma}{\sin \varphi}.$

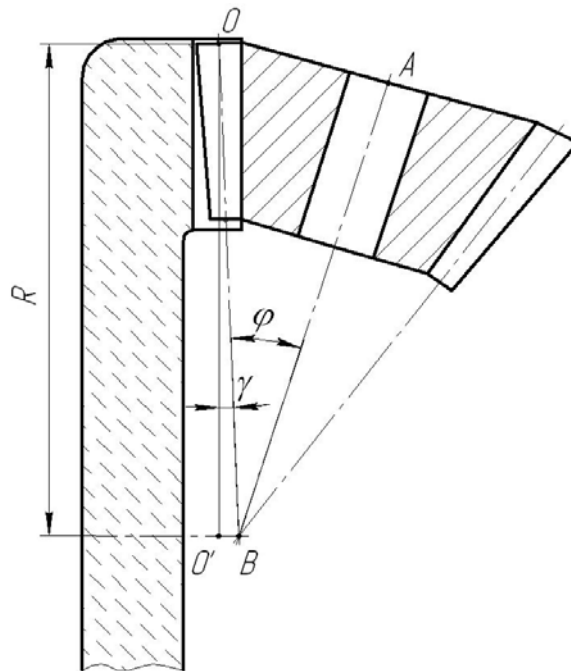


Рис. 6.5. К расчету зубьев производящего колеса

Подставляя в уравнение кинематического баланса $Z_1 = \frac{z \cos \gamma}{\sin \varphi}$

и $\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{30}{z}$,

получим $\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = \frac{z \cos \gamma}{75 \sin \varphi}$.

6.3. Зубострогальный полуавтомат 5П23БП

Он предназначен для нарезания прямозубых конических колес. Оригинальным устройством в станке является узел реверсирования люльки с помощью составного зубчатого колеса. Автором разработки является д.т.н. В.Н. Кедринский.

Ведущее колесо A (рис. 6.6, а) всегда вращается в одном направлении (по часовой стрелке), входя в зацепление то с внешним полукружьем (CED) $z = 175$, то с внутренним (CFD) – $z = 65$. При этом происходит изменение направления вращения составного колеса B и, соответственно, выполняется реверсирование вращения люльки. Переход с внешнего полукружья на внутреннее (ход L) осуществляется благодаря расфиксации блока B с помощью кулачка K .

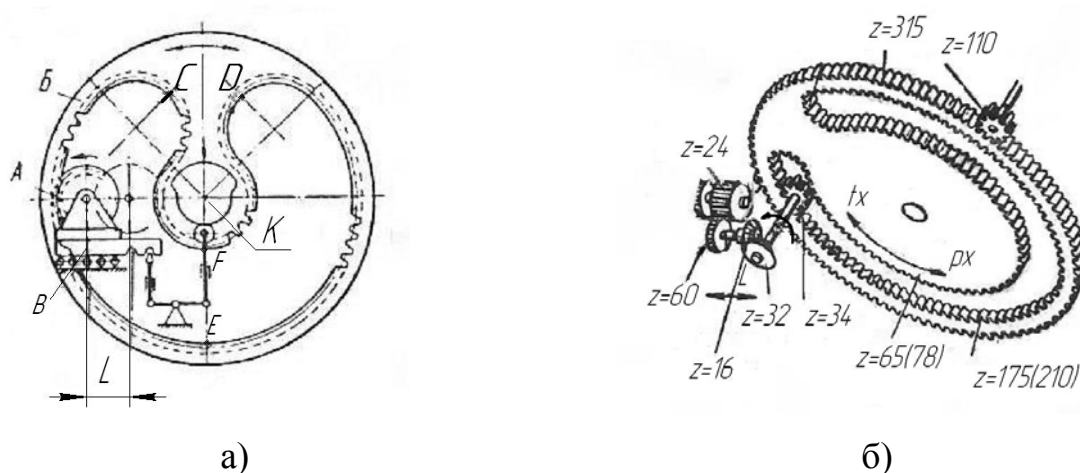


Рис. 6.6. Схема реверсивного механизма: а) принципиальная; б) конструктивная

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА:

Наибольший диаметр делительной окружности, мм..... 125
 Наибольший модуль колеса, мм 1,5
 Угол между осями колес, в градот10 до 170

Кинематическая схема станка мод. 5П23БП показана на рис 6.7, числа зубьев шестерен – в таблице 6.1.

Расчетные перемещения:

$$n \text{ об/мин эл.дв.} \rightarrow n_{\text{дв.ход/мин резцов.}}$$

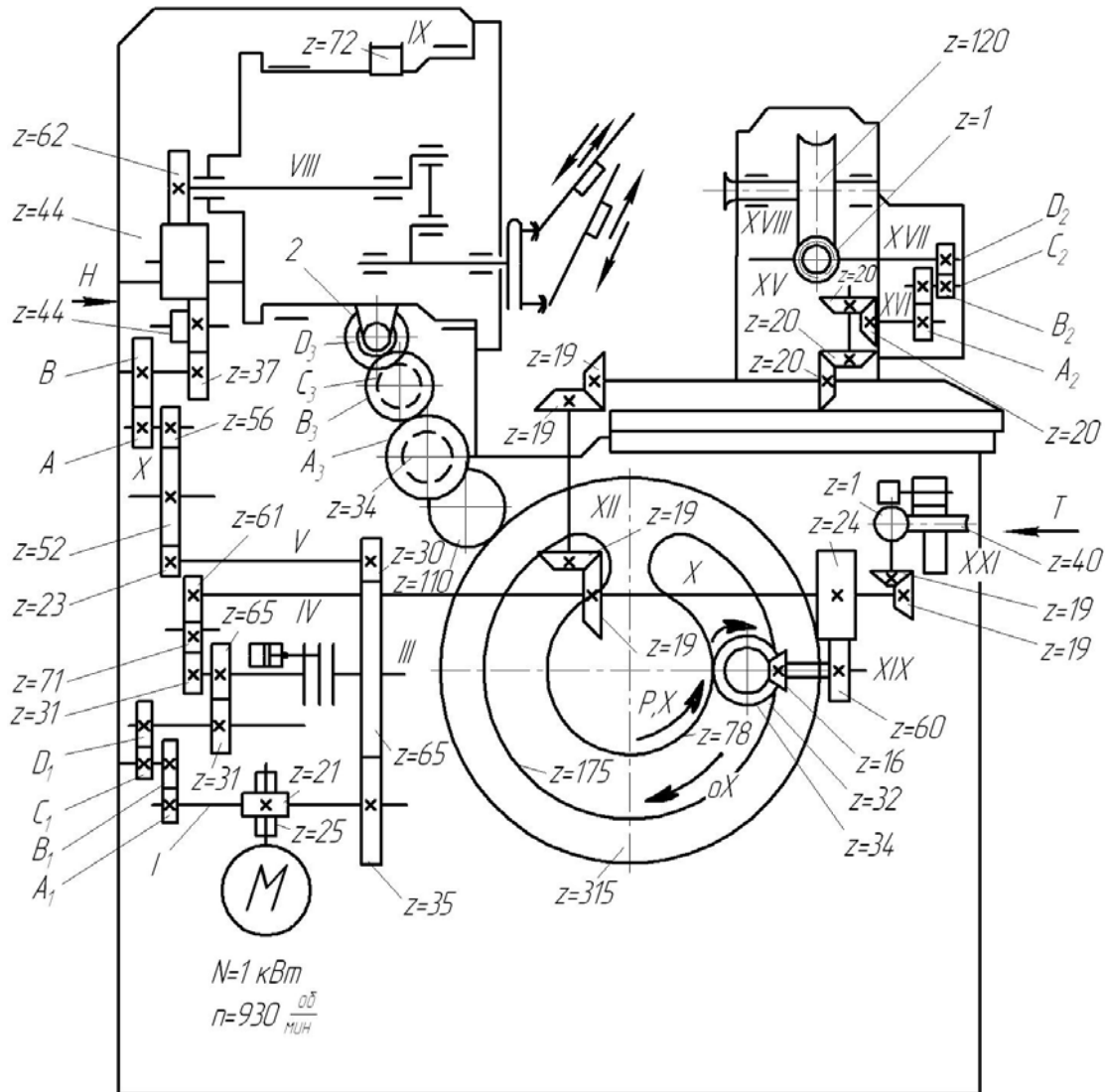


Рис. 6.7. Кинематическая схема зубострогального полуавтомата 5П23БП

Уравнение кинематического баланса:

$$930 \frac{21}{25} \frac{35}{65} \frac{65}{30} \frac{23}{52} \frac{52}{56} \frac{A}{B} \frac{37}{44} \frac{44}{44} \frac{44}{62} = n \text{ ДВ.ХОД/МИН.}$$

Откуда получим

$$\frac{A}{B} = \frac{n_{\text{об}} \cdot \text{ход} / \text{мин}}{347,5}.$$

Станок имеет 8 пар сменных колес и обеспечивает 8 различных двойных ходов в минуту резцов в пределах 160–800.

Таблица 6.1. Число зубьев и скоростей

А	Б	n дв.ход/мин
29	66	160
34	61	200
39	56	250
45	50	315
50	45	400
56	39	500
61	34	630
066	29	800

2. Цепь подач – предназначена для согласования частот вращения электродвигателя и распределительного вала, который за время обработки одного зуба делает один оборот.

Расчетные перемещения:

$$t \text{ с} \rightarrow 1 \text{ об. распредвала.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$t \frac{930}{60} \frac{21}{25} \frac{A_1}{B_1} \frac{C_1}{D_1} \frac{31}{65} \frac{31}{71} \frac{71}{61} \frac{19}{19} \frac{1}{49} = 1 \text{ об. распредвала.}$$

Откуда находим сменные колеса гитары подач

$$\frac{A_1}{B_1} \frac{C_1}{D_1} = \frac{6,6}{t}.$$

Время обработки одного зуба берется из нормативов режимов резания в пределах от 3,6 до 112 с.

3. Цепь деления предназначена для поворота заготовки на очередной обрабатываемый зуб.

Расчетные перемещения:

$$1 \text{ об. распред.вала} \rightarrow \frac{z_i}{z} \text{ об. заготовки,}$$

где z_i – число зубьев заготовки, пропускаемое при делении, z – число зубьев нарезаемой заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{40}{1} \frac{19}{19} \frac{19}{18} \frac{20}{20} \frac{20}{20} \frac{A_2}{B_2} \frac{C_2}{D_2} \frac{1}{120} = \frac{z_i}{z}.$$

Откуда находим

$$\frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{3z_i}{z}.$$

Пропускаемое число зубьев берется из условия, чтобы оно не имело общего множителя с числом зубьев нарезаемого колеса.

4. Цепь обкатки – предназначена для согласования вращения плоского воображаемого колеса (люльки) и заготовки.

Расчетные перемещения:

$$\frac{1}{z} \text{ об.заготовки} \rightarrow \frac{1}{z_c} \text{ об. люльки.}$$

Уравнения кинематического баланса при рабочем ходе:

$$\frac{1}{z} \frac{120}{1} \frac{A_2}{B_2} \frac{C_2}{D_2} \frac{20}{20} \frac{20}{20} \frac{19}{19} \frac{19}{19} \frac{24}{60} \frac{16}{32} \frac{34}{78} \frac{315}{110} \frac{110}{34} \frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} \frac{2}{72} = \frac{1}{z_c},$$

где Z_c – число зубьев плоского производящего колеса; $Z_c = \sqrt{Z + Z_{ш}}$, $Z_{ш}$ – число зубьев шестерни (наименьшей из пары), Z_k – число зубьев колеса, сопряженного с шестерней, которая нарезается.

Уравнения кинематического баланса при холостом ходе:

$$\frac{1}{z} \frac{120}{1} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{20}{20} \frac{20}{20} \frac{19}{19} \frac{19}{19} \frac{24}{60} \frac{16}{32} \frac{34}{78} \frac{315}{110} \frac{110}{34} \frac{A_3}{B_3} \frac{C_3}{D_3} \frac{2}{72} = \frac{1}{z_c}.$$

Расчет сменных колес производится по формуле

$$\frac{a_3}{b_3} \frac{c_3}{d_3} = \frac{3z_i}{z}.$$

При повторении цикла столько раз, сколько зубьев на нарезанном колесе, произойдет нарезание всех его зубьев.

Последовательное включение подвода и отвода стола, муфты реверса, счетчика числа обработанных зубьев выполняют кулачки, установленные на распределительном валу XXII.

ГЛАВА 7

НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ И ИЗДЕЛИЙ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ

Конические колеса с круговыми зубьями нарезают на станках, работающих резцовыми головками по методу обката (станки мод. 5Т23А, 5240 и др.). В процессе нарезания режущие зубья резцовой головки воспроизводят поверхность зуба производящего колеса.

В таких станках различают (рис. 7.1):

а) движение резания – независимое вращение резцовой головки 1 (n_1 , об/мин;

б) движение обката, состоящее из вращения ω люльки 3 с воображаемым производящим колесом и вращения ω_1 нарезаемой головки 2, согласованного с вращением люльки посредством сменных колес 5;

в) отвод заготовки от резцовой головки Π по окончании нарезания очередного зуба;

г) движение деления – оно сообщается заготовке во время возвращения люльки в исходное положение после нарезания очередного зуба (движение $\omega_{x.x.}$).

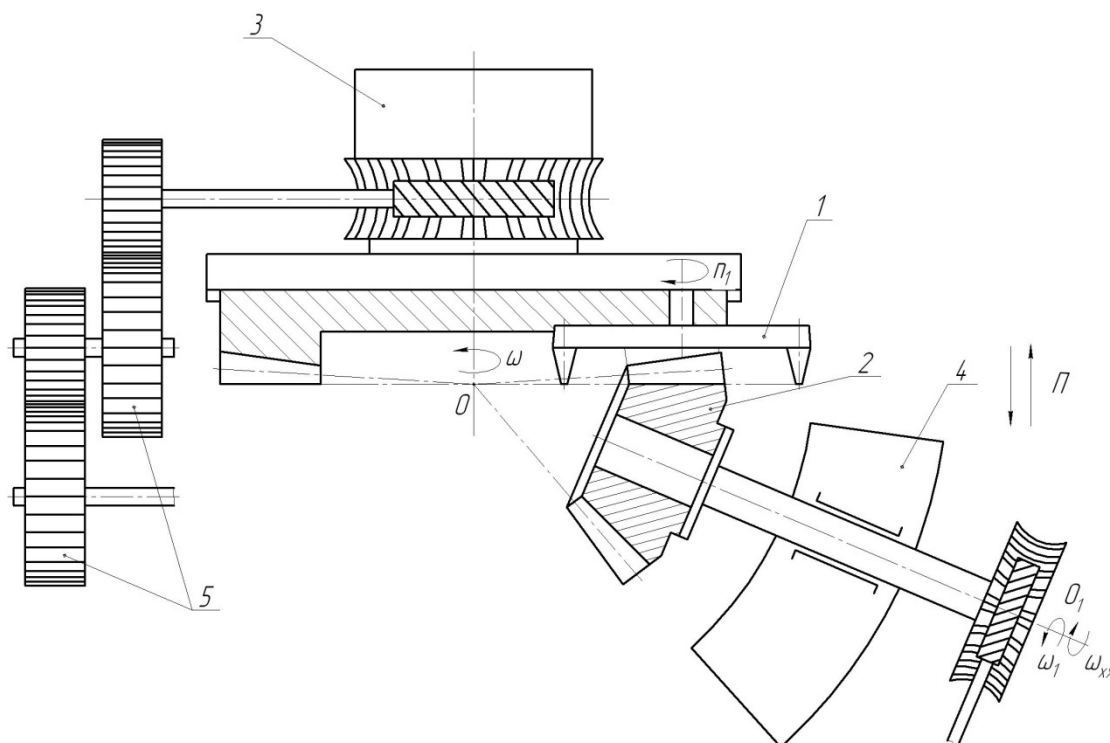


Рис. 7.1. Принципиальная схема нарезания конических колес с круговыми зубьями по методу обкатки: 1 – резцовая головка; 2 – нарезаемое коническое колесо; 3 – плоское колесо (воображаемое); 4 – поворотный стол; 5 – сменные шестерни.

Конические колеса с круговыми зубьями нарезают как при помощи плоского производящего колеса, когда ось резцовой головки параллельна оси люльки (рис. 7.2, а); по такому принципу работают, например, станки мод. 5123А, 5240, так и при помощи конического производящего колеса (рис. 7.2, б) когда имеется возможность повернуть заготовку с резцовой головкой на некоторый угол φ_n по отношению к плоскости вращения люльки Π_0 ; этот принцип используется, например, в станке мод. 5Б27.

По назначению головки подразделяются на двусторонние и односторонние. Двусторонние головки предназначены для чернового нарезания и чистовой обработки одновременно обеих сторон впадины зубьев колеса. Односторонние головки могут обрабатывать только одну сторону зуба: вогнутую или выпуклую. По направлению вращения (в процессе резания) головки могут быть правые и левые.

Общий вид двусторонней головки приведен на рис. 7.3. Головка имеет два типа резцов: наружные 6 и внутренние 5, устанавливаемые поочередно.

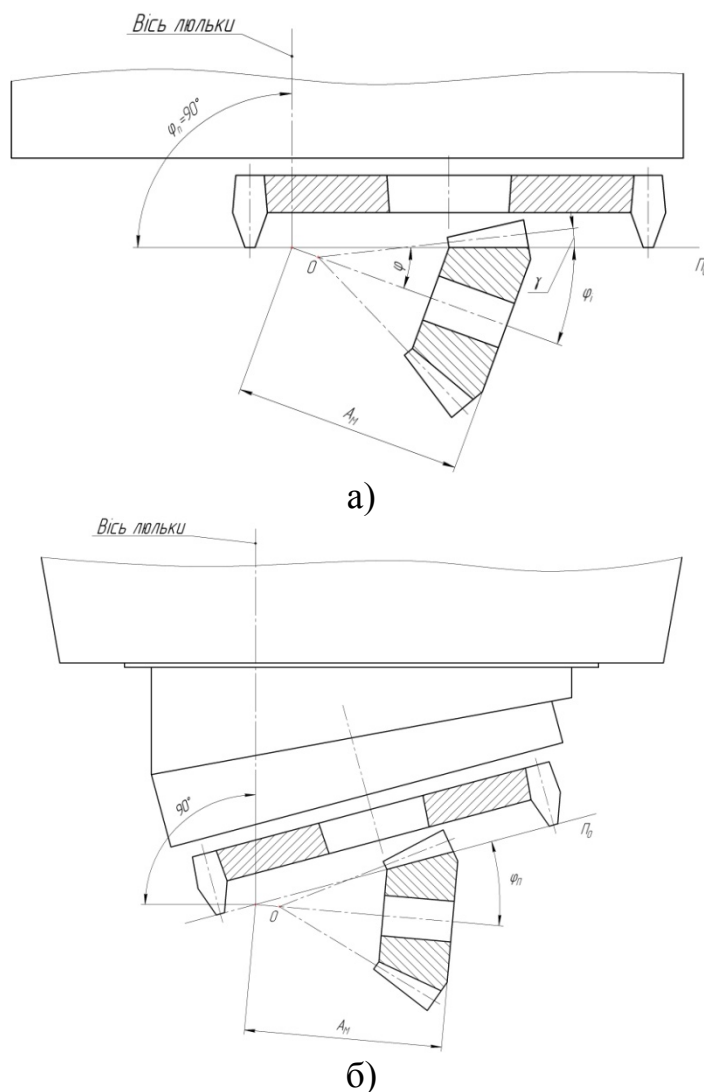


Рис. 7.2. Производящее колесо станка: а) плосковершинное; б) конусовершинное

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 обозначается буквой W . Диаметр окружности, проходящей через вершины кромок наружных резцов, называется наружным образующим диаметром D_e , а проходящий через вершины кромок внутренних резцов – внутренним образующим диаметром D_i . Соответствующий диаметр $D = \frac{D_e + D_i}{2}$ называется номинальным диаметром, который для диаметров головок нормализован.

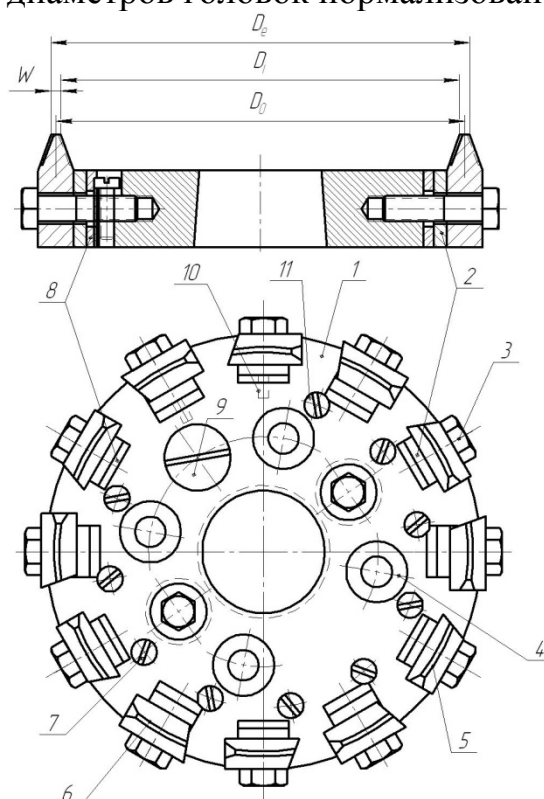


Рис. 7.3. Резцовая двухсторонняя головка:

- 1 – корпус; 2 – прокладка; 3,9 – винт; 4 – отверстие; 7 – регулировочный винт;
8 – регулировочный клин; 10 – шрифт; 11 – отжимной винт

7.1. Кинематическая настройка станков для нарезания конических колес с круговыми зубьями

Проверка правильности нарезания выполняется на контрольно-обкатном станке под легкой нагрузкой. Пятно контакта составляет 75–80% рабочей высоты зуба (рис. 7.4).

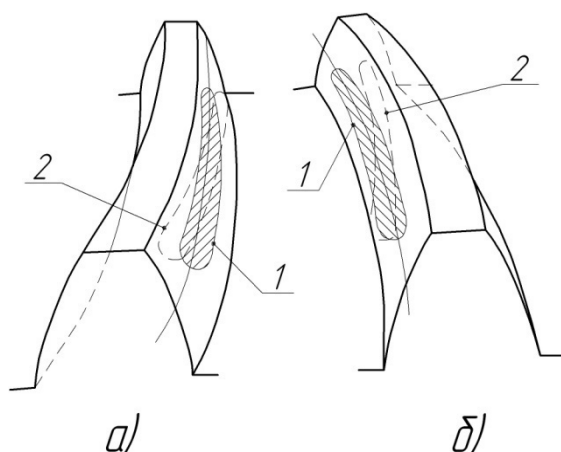


Рис. 7.4. Схема расположения пятна контакта на профилях зубьев: *а* – выпуклая сторона; *б* – вогнутая сторона;
1 – правильное расположение пятна контакта-сплошная линия; 2 – диагональное непрерывное расположение пятна-пунктирная линия

Зуборезный станок модели 5С26В. Назначение - нарезание конических колес с круговыми зубьями высокой точности. Конструкция станка позволяет нарезать обычные конические колеса с круговыми зубьями, гипоидные колеса, ведущие колеса с нулевым углом спирали. Обработка производится резцовыми головками.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм 8
 Наибольший диаметр делительной окружности, мм 320
 Длина образующей начального конуса, мм 30–160

Станок работает методом обкатки, который применяется при чистовом нарезании всех видов зубчатых колес обычных передач, а также – для чернового нарезания. Дополнительно предусмотрена возможность работы методом врезания, который применяется при черновом нарезании обычных колес и при чистовом нарезании полуобкатных передач комбинированным методом, который применяется для нарезания колес (большого из пары).

Основной рабочий цикл станка – обкатка. Цикл начинается с быстрого подвода стола копиром чистовой обработки. Копир рассчитан так, что последние 1,5–2 мм хода стол плавно доходит до упора. Привод ПМУ (привод механического управления) обеспечивает требуемую скорость обкатки люльки и детали. По окончании нарезания от команды циклового барабана стол быстро отводится назад, переключается муфта реверса цепи обкатки, привод ПМУ увеличивает частоту вращения электродвигателя обкатки. Во время холостого хода производят делительный поворот заготовки. Кинематическая схема станка приведена на рис. 7.5.

1. Цепь главного движения (вращение резцовой головки) осуществляется от электродвигателя M_1 ($N = 3$ кВт, $n = 1400$ об/мин). Расчетные перемещения: $n_{\text{об/мин}} \text{эл.дв} \rightarrow n_r \text{ об/мин. резцовой головки.}$ Уравнение кинематического баланса и формула настройки:

$$n_{M1} \frac{13}{32} i_e \frac{47}{45} \frac{34}{54} \frac{42}{42} \frac{22}{23} \frac{22}{22} \frac{25}{35} = n_r; \quad i_u = \frac{n_r}{92,6},$$

где n_r – частота вращения резцовой головки.

Гитара главного движения однопарная ($\sum z = 102$), обеспечивает десять ступеней частот вращения шпинделя резцовой головки в пределах от 30 до 200 об/мин.

2. Цепь деления обеспечивает поворот заготовки на один зуб во время холостого хода. Кинематической особенностью данного станка является то, что для повышения точности обработки зубчатых колес, во время работы цепи обкатки (рабочий ход) суммирующий механизм, который используют для совершения делительного поворота заготовки, отключается из цепи обкатки. Вследствие этого, кинематические погрешности суммирующего механизма не оказывают влияния на кинематическую точность цепи обкатки. В конечном счете кинематическая точность цепи обкатки (цепи деления) повышается

Делительный механизм включает гидравлический привод, две рейки $m = 3$ мм, реечное колесо $z = 18$ планетарный механизм с зубчатыми колесами наружного зацепления – $z = 40$ и две шестерни $z = 22$ и внутреннего зацепления $z = 84$, пару конических колес $z = 30$ и $z = 63$ и муфту M_3 . Во время работы цепи обкатки (рабочий ход) муфта M_3 включена вправо, и работают конические колеса $z = 40$ и $z = 40$. Во время делительного процесса, при холостом ходе, муфта M_3 включается влево и сцепляется с колесом $z = 40$ планетарного механизма. Для того, чтобы переключение муфты не приводило к разрыву кинематической цепи обкатки, левая и правая полумуфты всегда вращаются синхронно. Это обеспечивается следующим образом: при передаче движения от вала a к валу b через конические колеса $z = 40$ (муфта M_3 включена вправо) движение на левую полумуфту передается от вала a через конические колеса $z = 30$ $z = 63$ и планетарный механизм.

При этом передаточное отношение данной цепи составляет

$$i = \frac{30}{63} \frac{84}{22} \frac{22}{40} = 1.$$

Во время делительного процесса муфта M_3 включается влево: от гидропривода получают перемещение рейки $m = 3$ мм через зубчатое колесо $z = 18$ и планетарный механизм вал b получает два оборота: один – через передачу 30/63 и сумматор, другой – за счет вращения водила, за которые заготовка повернется на один зуб. Это движение накладывается на движение цепи обкатки во время холостого хода.

Расчетные перемещения: $2 \text{ об. вала } b \rightarrow \frac{1}{z} \text{ об. заг.}$

Уравнение кинематического баланса цепи деления 2 об. вала

$$i_{\frac{37}{37} \frac{26}{26} i_x \frac{5}{75} = \frac{1}{z}; \text{ формула настройки имеет вид } i_x = \frac{7,5}{z}.$$

3. Цепь обкатки обеспечивает согласование вращения заготовки и плоского производящего колеса (люльки).

Расчетные перемещения:

$$\frac{1}{z} \text{ об.заг} \rightarrow \frac{1}{z_c} \text{ об.люльки}.$$

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \text{ об.заг. } \frac{75}{5} \frac{1}{i_x} \frac{26}{26} \frac{37}{37} \frac{40}{40} \frac{23}{23} i_b \frac{5}{150} = \frac{z}{z_c}.$$

Подставим $i_x = \frac{7,5}{z_c}$, $z_c = \frac{z}{\sin b_l}$, тогда формула настройки имеет вид

$$i_{\varphi} = \frac{15}{z_c} \text{ или } i_b = \frac{15 \sin \delta_l}{z}, \text{ где } \delta_l - \text{угол конуса зуба.}$$

Для повышения долговечности высокоредукционных кинематических пар при больших скоростях скольжения в данном станке конечные звенья цепи обкатки выполнены в виде гипоидных конических зубчатых колес из стали.

4. Цепь подач. Вращение цепи обкатки осуществляется приводом ПМУ с электродвигателем M_2 ($N = 2.2$ кВт), имеющим бесступенчатое регулирование частоты вращения в диапазоне 150–1500 об/мин и позволяющим плавно изменять скорость обкатки в процессе резания по заранее заданному закону. Рабочую подачу условно задают временем рабочего хода t_p в секундах (муфта M_1 включена влево):

Расчетные перемещения: $t_p \text{ в.с.} \rightarrow \Theta^\circ$ угол наклона люльки, где t_p – время обработки одного зуба.

Уравнение кинематического баланса –

$$t_p \frac{1500}{60} \frac{100}{200} \frac{17}{27} i_y \frac{31}{77} \frac{35}{29} \frac{4}{28} \frac{23}{23} i_g \frac{5}{150} = \frac{\theta^\circ}{360^\circ}.$$

Муфта M_2 включена, она предназначена для отключения привода обкатки от цепи при работе методом врезания. Муфту M_2 включают и выключают вручную; θ – угол качания люльки, необходимый для обеспечения полной обработки зуба. При $i_b = \frac{15}{z_c}$ формула настройки:

$$i_y = \frac{\theta^\circ}{t_p 100}.$$

При угловой скорости качания люльки:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{\theta^\circ}{t_p}; i_y = \frac{\omega_{\text{л}} z_c}{100}.$$

Угол качания люльки Θ° при угле зацепления $\alpha=20^\circ$ может быть определен по формуле:

$$\Theta^\circ = \arccos \frac{\cos \delta \alpha}{\cos \delta f} + \frac{380}{z_c} + 57.3 \frac{b}{L} \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

где b – ширина зубчатого венца; L – средняя длина образующей начального конуса нарезаемого колеса; β – угол спирали нарезаемого колеса.

Изменение направления вращения цепи обкатки (ускоренная подача) во время перехода с рабочего хода на холостой осуществляется фрикционной муфтой M_I коробки подач (муфта M_I включена вправо):

Расчетные перемещения холостого хода:

$$n \text{ эл.дв. об/мин.} \rightarrow n \text{ хол.хода.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{м2} \frac{100}{200} \frac{17}{27} i_i \frac{35}{29} \frac{4}{28} \frac{23}{23} i_b \frac{5}{150} = n_{хх},$$

где $i_{n1} = \frac{59}{61}$, $i_{n2} = \frac{84}{36}$, $i_n = i_{n1} = i_{n2}$.

5. Цепь угла качания люльки. Кинематическая цепь угла качания люльки (управления) согласует поворот люльки и циклового барабана I . Угол качания люльки вверх и вниз от центра обкатки осуществляется установкой упоров на диске управления (цикловом барабане I)

В зависимости от изменения передаточного отношения i_I гитары механизма управления изменяется соотношение между углом качания люльки и углом установки упоров: $\Theta^\circ \text{град. люльки} \rightarrow \Theta^\circ \text{град. цикл. бараб.}$

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{\Theta^\circ}{360^\circ} \frac{150}{5} \frac{1}{i_b} \frac{23}{23} \frac{26}{26} \frac{49}{28} i_i \frac{2}{42} \frac{45}{45} \frac{30}{30} \frac{30}{45} = \frac{\Theta_1}{360^\circ}, i_i = \frac{1800}{\Theta_{zc}}.$$

где Θ° – угол качания люльки; $\Theta_1^\circ = 300^\circ$ – угол установки упоров на цикловом барабане.

На валу $в$ механизма управления закрепляют кулачок II , воздействующий на следящий гидроцилиндр стола с бабкой изделия по заданному закону и кулачок III управления скорости обкатки, воздействующий на настроечный элемент привода ПМУ, который регулирует частоту вращения электродвигателя привода цепи обкатки.

Цепь дополнительного поворота люльки (движение модификации). Механизм модификации обкатки осуществляет доворот люльки в процессе резания, если требуется получить не эвольвентный, а какую-либо модификацию профиля зубьев нарезаемого колеса. Вращение барабану модификатора передается через гитару $i_a \rightarrow$ пару конических колес $z = 28$ и червячную пару $K = 2$ и $z = 45$. Вращение на вал к люльке при этом передается через косозубые цилиндрические колеса 27, 42, 42, 27. Муфта M_4 в данном случае разомкнута. Вращаясь, барабан модификатора воздействует кулачком на ползун и через рычаг сообщает основное перемещение блоку

зубчатых колес $z = 42,42$, последний за счет косых зубьев сообщает дополнительный поворот валу и далее люльке.

Цепь дополнительного поворота люльки. Расчетные перемещения: $\alpha'_л \rightarrow \alpha_p$ – угол поворота ролика модификатора.

Уравнение кинематического баланса:

$$\alpha'_л \frac{150}{5} \frac{27}{42} \frac{42}{27} i_z \frac{28}{28} \frac{2}{45} = \alpha_p; i_z = \frac{0,75\alpha_p}{\alpha'_л}.$$

где $\alpha'_л$ – дополнительный угол поворота люльки; α_p – угол поворота ролика модификатора.

При работе без модификатора блок колес $z = 42,42$ выводится из зацепления с колесом $z = 27$, а валы соединяются муфтой M_4 .

Таким образом, при повороте барабана модификатора рычаг за счет кривошипа движется вниз (по стрелке) и сдвигает косозубый блок $\frac{42}{42}$ влево, включается муфта M_4 и дается дополнительный поворот люльке, как бы распрямляя дуговой зуб при нарезании.

7.2. Особенности нарезания гипоидных колес и полуобкатной шестерни

Гипоидные колеса целесообразно применять с большим передаточным числом, где имеет значение повышение прочности меньшего колеса, когда требуется повышенная плавность передачи вращения, как например, в приводах заднего моста автомобиля.

Аналогично коническим колесам с круговыми зубьями гипоидные колеса имеют криволинейные круговые зубья.

Для нарезания гипоидных колес (рис. 7.6) шпиндель заготовки 4 с помощью микрометрического винта может устанавливаться по вертикали на величину гипоидного смещения H . Эта величина в автотракторной промышленности составляет 0,1–0,2 начального диаметра колеса.

Автотракторная промышленность применяет полуобкатные конические пары с дугowym зубом, состоящие из малой шестерни и большого колеса. Исходя из возможностей массового производства, профиль зуба на колесе делают прямолинейным методом копирования, а на шестерне, сопряженной с ним, – криволинейным, методом обката. Поэтому эти зубчатые пары называют полуобкатными. Нарезание колеса методом копирования на универсальных станках ничем не отличается от чернового нарезания конических колес. В массовом производстве колеса нарезают торцевой протяжкой на специальных зубопротяжных станках.

Профиль зуба шестерни (малого колеса) в полуобкатных парах отличается от профиля зуба шестерни обычной (обкатной) конической пары, так как он сопрягается с прямолинейным профилем колеса полуобкатной пары. Такой профиль срезается по головке и ножке зуба.

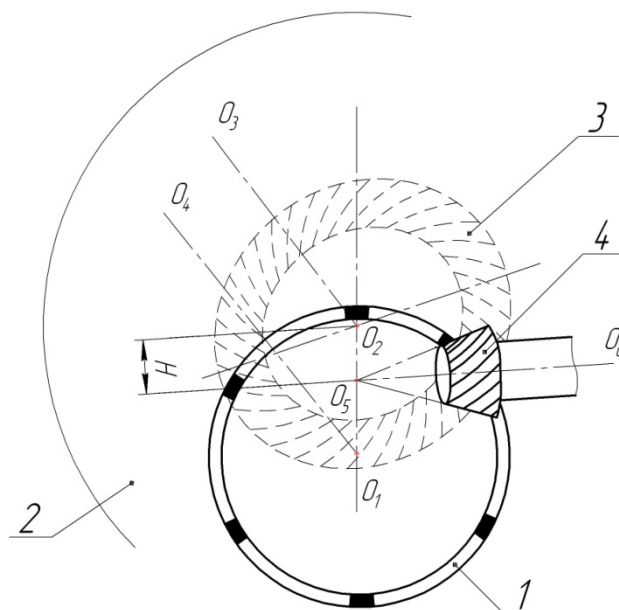


Рис. 7.6. Схема установки режущего инструмента и заготовки при нарезании резцовой головкой гипоидных конических колес: 1 – резцовая головка; 2 – люлька; 3 – геометрическое плоское производящее колесо; 4 – нарезаемое гипоидное колесо; O_1, O_4 – ось вращения резцовой головки; O_2, O_3 – ось вращения люльки; O_5, O_6 – ось вращения заготовки

Этот модифицированный профиль зуба конической шестерни можно нарезать двумя способами: 1) плосковершинным производящим колесом (рис. 7.2, а); 2) коническим производящим колесом (рис. 7.2, б). Для применения этих способов в типовой структуре зуборезного станка вносятся соответствующие изменения.

При нарезании шестерни первым способом в люльку с плосковершинным производящим колесом встраивают механизм модификации обката с гитарой i_a (рис. 7.5) как это сделано в базовых станках ЭНИМСа.

7.3. Обработка неэвольвентных профилей по методу огибания (обкатки)

Для обработки изделий неэвольвентного профиля применяют червячные фрезы, долбяки и обкаточные резцы.

Метод огибания применяется при фрезеровании, долблении и точении для обработки валиков фасонного сечения с профилем, повторяющимся или не повторяющимся по окружности, с образующими прямыми, параллельными к оси, или винтовыми, цилиндрической и конической формы (центроида изделия – окружность, концентричная с центром вращения изделия);

- отверстий фасонного профиля, например в шлицевых втулках (центроида изделия – окружность, центр которой лежит на оси обрабатываемого отверстия);

- валиков с прямолинейными и фасонными образующими, с кольцевыми и винтовыми поверхностями (круглые кольцевые рейки, фасонные тела вращения, резьба, червяки и пр.) (центроида изделия – прямая, в большинстве случаев параллельная оси изделия);

- призматических реек с профилем, повторяющимся по длине, и деталей призматического типа постоянного по длине детали сечения (центроида – начальная прямая, иногда для призматических изделий дуга окружности).

Примеры изделий, обрабатываемых по методу огибания, показаны на рис. 7.7.

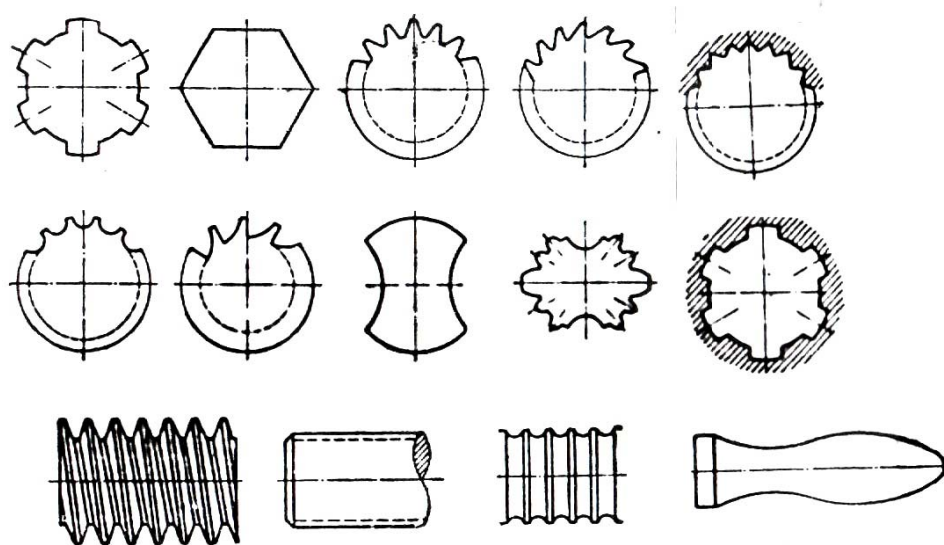


Рис. 7.7. Изделия, обрабатываемые по методу огибания

Возможность обработки изделия по методу огибания зависит от формы и размеров профиля изделия, положения центроиды на профиле изделия, типа и размера инструмента и расположения центроиды на профиле инструмента. Построив профиль режущего лезвия инструмента для изделий сложного профиля, необходимо проверить правильность его обратной обкаткой (графическим методом).

Положение центроиды на профиле изделия выбирают с таким расчетом, чтобы выполнялись условия возможности обработки всего профиля.

Профиль режущего лезвия инструмента, работающего по методу огибания, может быть определен путем нахождения:

а) огибающей последовательных положений профиля изделия при взаимном качении центроид без скольжения;

б) сопряженных точек профилей изделия и инструмента в процессе обкатки при взаимном качении их центроид без скольжения.

Для определения формы профиля режущих лезвий обкаточных инструментов применяются:

а) графические;

б) графоаналитические;
в) аналитические;
г) механические (определение профиля при помощи специальных приборов) и др экспериментальные методы, полученные обработкой резанием.

Методы *а*, *б* и *в* описаны применительно к частным случаям обработки.

При нарезании шлицевых валов и других аналогичных изделий с прямоточным профилем, профиль фрезы должен иметь соответствующий эвольвентный профиль шлицев.

В отличие от зубофрезерных у шлицефрезерных станков отсутствует цепь дифференциала.

ГЛАВА 8

СТАНКИ ДЛЯ ЗУБОЗАКРУГЛЕНИЯ, СНЯТИЯ ФАСОК И ЗАУСЕНЕЦ

В коробках передач различных механизмов и машин применяются переключаемые зубчатые колеса. Для хорошей переключаемости торцы зубьев переключаемых зубчатых колес должны быть закруглены.

Закругление торцов зубьев переключаемых колес, а также снятие фасок и заусенцев могут производиться различными методами обработки: а) концевой (пальцевой) фрезой с осью вращения в плоскости, параллельной или перпендикулярной к плоскости торца зубчатого колеса; б) охватывающей фасонной трубчатой фрезой; в) резцовой головкой; г) фасонной червячной фрезой; д) фасонной дисковой фрезой; е) абразивным инструментом. Применяя эти методы, получают закругленные торцы, форма которых показана на рис. 8.1. Бочкообразная форма (рис. 8.1, б) обеспечивает наибольшую долговечность переключаемых зубчатых колес при хорошей переключаемости их. Бочкообразное закругление торцов зубьев колес может быть получено при обработке пальцевой фасонной фрезой, ось которой параллельна торцу обрабатываемого колеса, или дисковой фасонной фрезой (табл. 8.1).

Наибольшее распространение получили станки, работающие с непрерывным делением и синхронным возвратно-поступательным движением концевой фрезы вдоль оси детали.

По этой схеме выполнены, например, станки мод. 5Н580, 5А580, 5582, 5584, (табл. 8.1). Встречаются станки, в которых возвратно-поступательным движением является движение обрабатываемого колеса вдоль своей оси, а также станки работающие с периодическим делением на каждый зуб обрабатываемого колеса при вращении и возвратно-колебательном движении концевой фрезы по радиусу вокруг зуба. Деление на следующий зуб производится в последнем случае при отведенном столе.

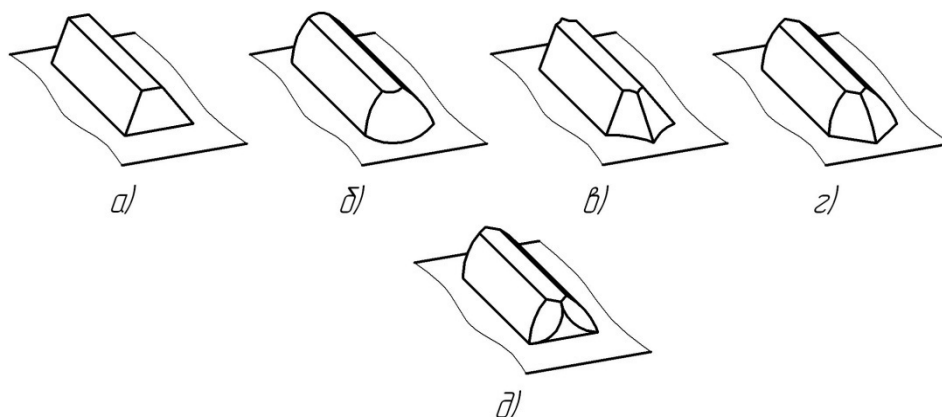


Рис. 8.1. Форма торцов зубьев переключаемых колес: а – конусная, б – бочкообразная; в, г, д – вогнутая, выпуклая и частично заостренная

Таблица 8.1. Способы закругления и снятия фасок и заусенцев на торцах зубьев колеса

Наименование операции	Инструмент и схема обработки	Сущность способа	Область применения	Модель станка
Закругление зубьев и снятие фасок	Пальцевая фреза	Пальцевая фреза совершает колебательные движения по радиусу. Процесс непрерывный. Наиболее качественное закругление. Недостаток способа –малая стойкость фрез.	Прямозубые колеса внешнего и внутреннего зацепления	5Н580 5Н582
	Трубчатая фреза	Обработка может осуществляться как при непрерывном вращении заготовки, так и путем деления на зуб. Недостаток – ребро перегиба на торце зуба колеса	То же	557 (непрерывный процесс). 550 (с делением)
	Один вращающийся резец	То же. Недостаток – низкая стойкость инструмента, появление заусенцев после обработки	Прямозубые колеса внешнего и внутреннего зацепления	
	Червячная фреза	Обработка осуществляется по методу об- катки. Недостаток – высокая стоимость инструмента и станка	Колеса внешнего зацепления	Зубофрезерный станок любого типа
Закругление зубьев	Дисковая фасонная фреза	Дисковая фасонная фреза движется по копиру. Обработка осуществляется по методу деления. Преимущество – простота и высокая стойкость инструмента. Недостаток – глубокое врезание инструмента в торец колеса	Прямозубые колеса внешнего зацепления	5Д580 5Д582
Снятие фасок и заусенцев	Абразивный червяк	Процесс обработки непрерывный. Инструмент вращает заготовку. Преимущество – возможность обработки закаленных колес. Недостаток – низкая стойкость инструмента и трудность начального фланкирования заготовки	Колесо внешнего зацепления с открытым венцом	552

Недостатками метода обработки с помощью фасонной концевой фрезы являются: а) низкая стойкость и значительная трудоемкость изготовления и переточки с вогнутыми профилем; б) образование игольчатой стружки, которая отличается большой сцепляемостью и угрожает травмированию рук рабочего; в) недостаточная производительность.

В ЭНИМСе разработан новый метод придания бочкообразной формы торцам зубьев при помощи дисковой фасонной фрезы. Этот метод в 3–6 раз производительнее обработки зубьев концевой фрезой и обеспечивает хорошее качество поверхности. Кроме того, благодаря изменению формы инструмента и процессу резания устранено образование игольчатой стружки. При этом методе закругления торцов зубьев ось дисковой фрезы расположена в плоскости, параллельной торцу зубчатого колеса и перпендикулярна к радиальной плоскости.

Цикл обработки одного зуба состоит из следующих движений:

- 1) врезание в торец колеса на полную глубину закругления (участок a на рис. 8.2);
- 2) обработка поверхности торца вдоль высоты зуба колеса по радиусу r , осуществляемая во время перемещения центра фрез по дуге b ;
- 3) быстрый отвод фрезы от обрабатываемого колеса (участок c);
- 4) возврат фрезы в исходное положение по дуге d с одновременным поворотом детали для обработки следующего зуба.

По такому циклу работает полуавтомат модели СМ5. По горизонтальным призматическим направляющим станины перемещается фрезерная головка, в которой смонтирован фрезерный шпиндель, с механизмом изменения скорости вращения фрезы, а также система рычагов и кулачков, обеспечивающая необходимую траекторию движения фрезы вдоль высоты зуба обрабатываемого колеса, и механизм деления, производящий поворот детали на следующий зуб.

Для закругления зубьев дисковой фасонной фрезой используется также зубофрезерные станки любого типа, например: 5Д580, 5Д582 и др.

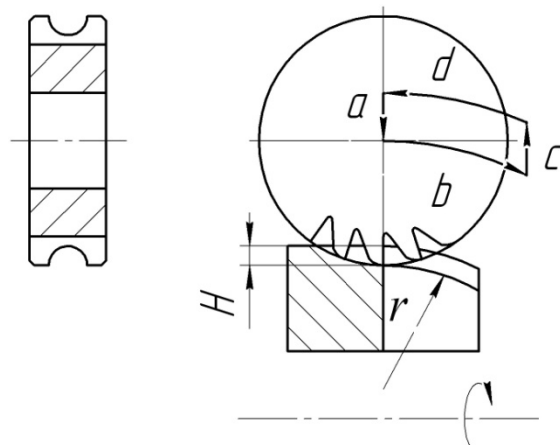


Рис. 8.2. Схема закругления торцов зубьев дисковой фасонной фрезой

Рассмотрим более подробно процесс бочкообразного закругления зубьев концевой фасонной фрезой. Фрезе сообщается вращательное движение по направлению стрелки 1 (рис. 8.3).

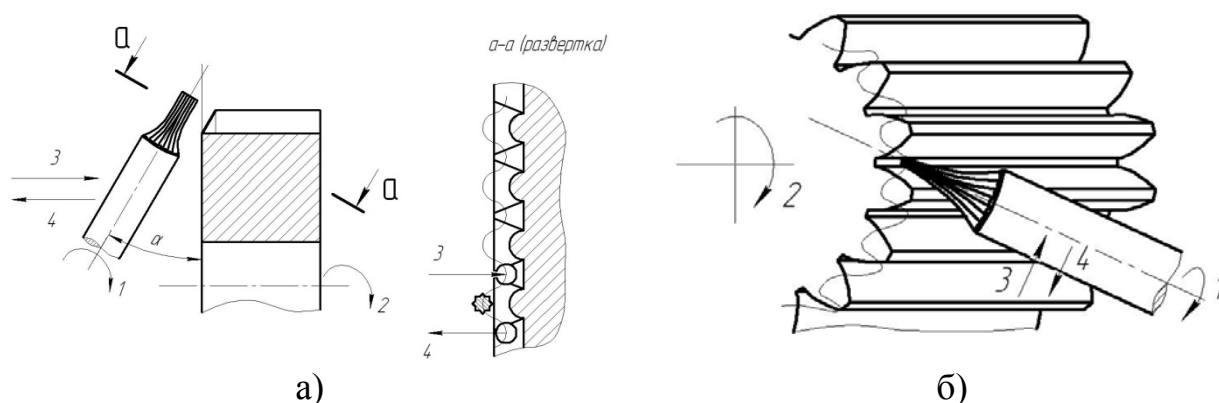


Рис. 8.3. Процесс бочкообразного закругления зубьев:
а – кинематика движений, б – порядок закругления зубьев

Шестерне, у которой необходимо закруглить зубцы, сообщается медленное вращательное движение по направлению стрелки 2. Для получения закругления зубцов непрерывно фрезе сообщают возвратно-поступательное движение (подача) 3 и 4, согласованное с вращением заготовки: за один двойной ход фрезы шестерня должна повернуться на один зуб.

Зубозакругляющий станок фирмы «Рейнекер»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший модуль шестерни наружного зацепления, мм	7
Наибольший наружный диаметр, мм	400
Наименьший наружный диаметр, мм	85
Наибольший внутренний диаметр шестерни внутреннего зацепления, мм	85
Наименьший внутренний диаметр, мм	30

Кинематическая схема зубозакругляющего станка приведена на рис. 8.4.

Цель главного движения. Расчетные перемещения:

n об/мин эл.дв $\rightarrow$ n об/мин фрезы.

Уравнение кинематического баланса:

1500 об/мин электродвигателя = 1500 об/мин фрезы.

При среднем диаметре фрезы 10 мм, скорость резания

$$V = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 10 \cdot 1500}{1000} = 47.1 \text{ м/мин.}$$

Цепь подач. Расчетные перемещения

n об/мин эл.дв $\rightarrow$ n поворот/кулачка.

Уравнение кинематического баланса:

$$1430 * \frac{24}{42} \frac{29}{43} \frac{z_{21}}{z_{22}} \frac{30}{30} \frac{1}{24} \frac{25}{30} \frac{24}{40} = k n \text{ поворотов кулачка,}$$

где – число выступов кулачка, если $k = 1$, то $\frac{z_{21}}{z_{22}} = \frac{1}{11,5} n$

С учетом сменных колес имеем 8 ступеней поворотов кулачка и получаем $n_{\text{дв.поворотов кулачка}}$: 20, 25, 28, 32, 38, 45, 50, 62.

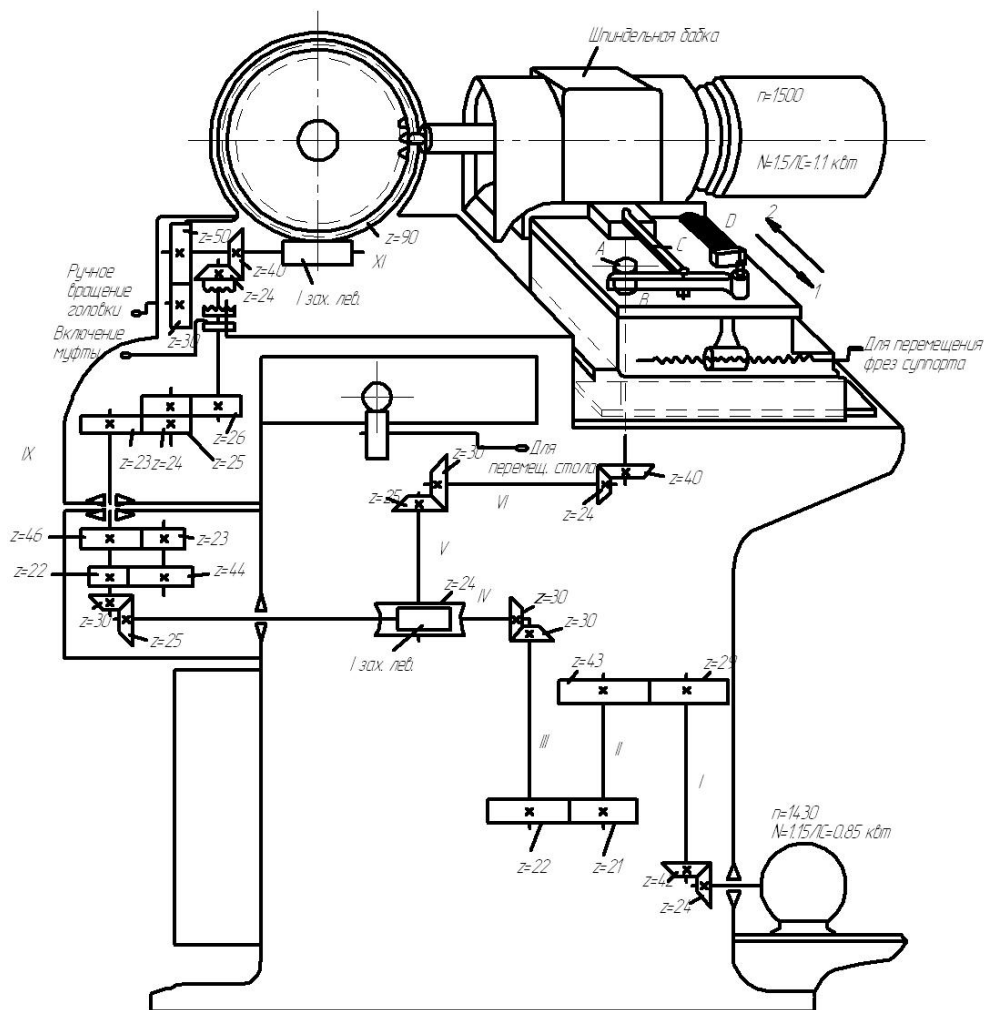


Рис.8.4. Кинематическая схема зубозакругляющего станка фирмы “Рейнекер ”

Цепь деления – согласованное вращение заготовки (шестерни) и подачи фрезы.

Расчетные перемещения: 1 об.кулачка $\rightarrow \frac{k}{z}$ об. заготовки

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \frac{40}{24} \frac{30}{25} \frac{24}{1} \frac{25}{30} \frac{22}{44} \frac{23}{46} \frac{z_{23}}{z_{24}} \frac{z_{25}}{z_{26}} \frac{24}{40} \frac{1}{90} = \frac{k}{z}.$$

Откуда $\frac{z_{23} z_{25}}{z_{24} z_{26}} = \frac{15k}{z}$, если $k=1$, то $\frac{z_{23} z_{25}}{z_{24} z_{26}} = \frac{15}{z}$, где z – число зубьев закругляемой шестерни.

В последнее время для снятия фасок и заусенцев у зубчатых колёс всё большее распространение получают методы абразивной обработки. Инструментом здесь служат червячные круги (табл. 8.1) или круги собранные из листов абразивной шкурки, на периферии которых сделана либо винтовая канавка с шагом равным шагу обрабатываемых зубьев, либо кольцевые канавки с таким же шагом.

В станках, где обработка ведётся червячным абразивным кругом, деталь, ведомая червячным кругом, сидит на шпинделе, не имеющем кинематической связи с приводом станка.

В станках, где обработка ведется кругом из абразивных шкурок, скорости вращения детали и круга могут быть либо согласованными, т. е. за каждый оборот круга деталь поворачивается на один зуб (в случае винтовой канавки на периферии круга), либо не зависимыми (при кольцевых канавках на периферии круга). В последнем случае кругу сообщается колебательное движение.

ГЛАВА 9

МЕТОДЫ ОТДЕЛКИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

9.1. Шевингование зубьев

Шевингование основано на снятии (соскабливании) с боковых поверхностей зубьев стружки толщиной от 0,005 до 0,1 мм режущими кромками инструмента при относительном скольжении профилей зубьев обрабатываемого колеса и инструмента – шевера. Шевер представляет собой зубчатое колесо или резе зубчатую рейку, которые имеют на боковых поверхностях зубьев режущие кромки, образованные поперечными канавками (рис. 9.1, а). Шевер и обрабатываемое колесо устанавливают на станке с целью обеспечения относительного проскальзывания.

Процесс шевингования несколько напоминает «бритье», откуда и происходит название шевинг-процес, что в переводе с английского означает «бреющий процесс». Шевингование характеризуется высокой точностью (6–7 степень точности по ГОСТ 1643-56) и производительностью.

Обрабатываемое зубчатое колесо и инструмент – шевер устанавливают под углом наклона, равным алгебраической разности (или сумме) углов наклона зуба заготовки β и угла наклона зуба шевера β_u (рис. 9.1, б),

$$\gamma = \beta \pm \beta_u.$$

Знак плюс ставится при одноименном наклоне зубьев колеса и шевера, знак минус – при разноименном их направлении.

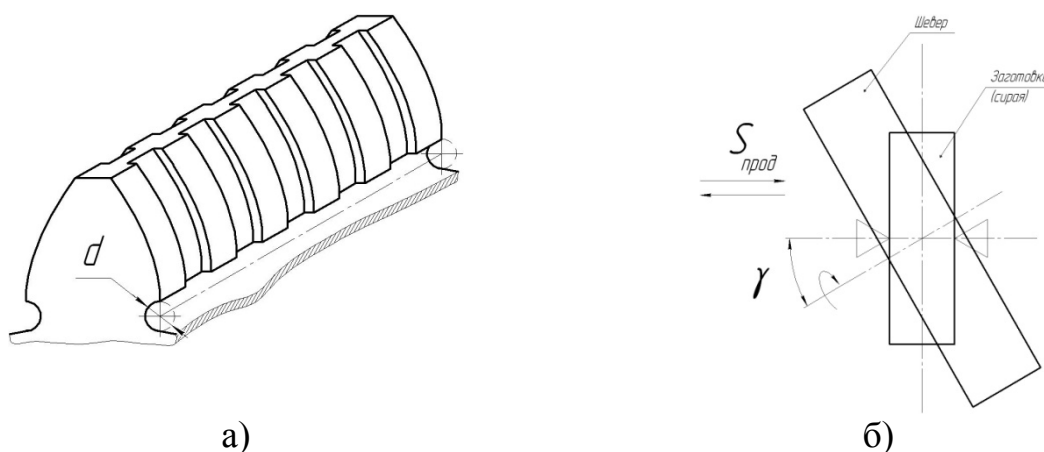


Рис. 9.1. К вопросу шевингования:
а – зуб шевера; б – установка шевера относительно заготовки

Таким образом, установка профилей их зубьев производится так, что они образуют винтовую зубчатую передачу с осями, скрещивающимися под некоторым углом, лучше всего в пределах $10\text{--}15^\circ$. Минимальное значение этого угла при шевинговании зубчатых колес с буртом 5° .

Деталь зажата в центрах и приводится во вращение шевером. На линии кратчайшего расстояния между осями шевера и колеса происходит калибрование профиля обрабатываемого зубчатого колеса. Для обработки зубьев колеса по всей ширине необходимо перемещать колесо относительно линии кратчайшего расстояния. Такое перемещение может осуществляться различными способами с помощью продольной, диагональной, поперечной или тангенциальной подачи.

При шевинговании с продольной подачей, т. е. с подачей S вдоль оси заготовки (рис. 9.2, а), длина хода L_1 теоретически равна длине зуба колеса. Линия кратчайшего расстояния между осями шевера и обрабатываемого колеса в этом случае остается неподвижной относительно шевера, следовательно обкатка производится одними и теми же режущими кромками, проходящими через линию кратчайшего расстояния, точнее – через пятно контакта. Это приводит к неравномерному износу режущих кромок шевера.

При диагональной подаче стол с заготовкой поворачивается с целью хода шевера по диагонали (рис. 9.2, б); длина требуемого перемещения меньше, так как направление подачи составляет некоторый угол с осью детали. Кроме того, благодаря перемещению линии кратчайшего расстояния вдоль оси шевера, в работе участвует большее число режущих кромок и, следовательно, шевер работает большей шириной, чем при шевинговании с продольной подачей.

При поперечной подаче (рис. 9.2, в), т.е. при движении стола по подаче S в направлении перпендикулярном к оси детали, требуемое перемещение еще меньше, чем при шевинговании с диагональной подачей, а износ шевера происходит равномерно по всем режущим кромкам зубьев.

Шевингование с тангенциальной подачей (рис. 9.2, г) отличается от шевингования с поперечной подачей тем, что подача S стола направлена под прямым углом к оси шевера, а не детали. Требуемое перемещение L_4 в этом случае наименьшее.

В целях уменьшения шероховатости зубьев ($0,32\text{--}0,63$ мкм), шевингуемых методами поперечной и тангенциальной подач, стабилизация сил трения в процессе шевингования, а также интенсификации этого процесса, целесообразно сообщать в плоскости резания осциллирующее движение с частотой $20\text{--}100$ Гц зубчатому колесу и шеверу. Осциллирующее движение в плоскости резания при тангенциальном шевинговании облегчает условия резания и позволяет закончить шевингование за один проход без ухудшения шероховатости поверхности обрабатываемых зубьев, т. е. уменьшить машинное время в $8\text{--}10$ раз по сравнению с шевингованием по методу продольной подачи.

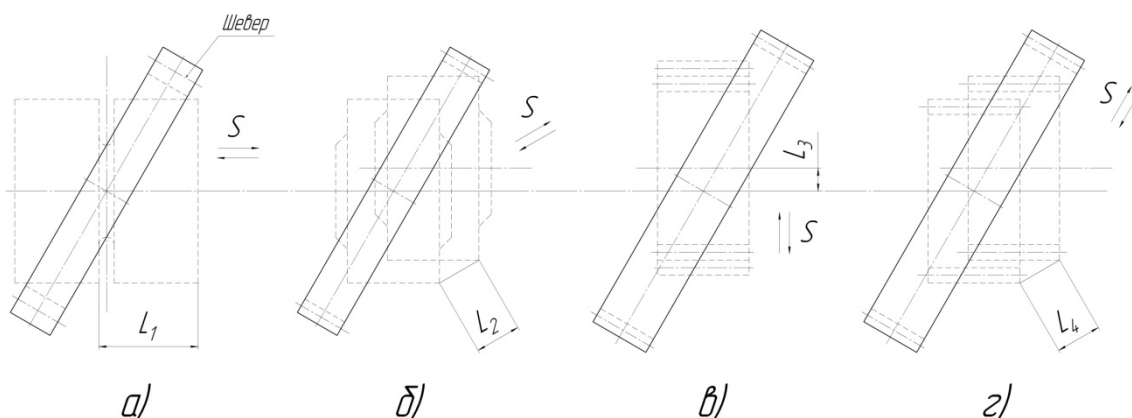


Рис. 9.2. Схемы подач при шевинговании:

а – продольная, б – диагональная, в – поперечная, г – тангенциальная

Зубошевинговальные станки

Зубошевинговальные станки предназначены для чистовой обработки незакаленных цилиндрических колес с прямыми и спиральными зубьями.

Основные параметры зубошевинговальных станков приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1. Параметры зубошевинговальных станков

№	Модель станка	Наиб. диаметр обраб. колеса в мм.	Модуль до	Скорость движения в об/мин.	Мощность приво-ного двигателя в кВт.	Вес в К.Н.	Примечания
1	5701	125	1,5	125-500	1,0	9	Работают по методу продольных подач
2	5702А	200	6	78-395	2,8	34	Продольных, поперечных, диагональных подач
3	5702	320	6	78-395	2,8	30	Продольных и диагональных подач.
4	5703	500	8	78-395	2,8	34	
5	5717	800	10	50-320	4,5	62	
6	5706	1250	16	16-227	13,5	300	С горизонтальными осями детали и шевера
7	5708	4000	16	4,8-51	14,0	540	

Зубошевинговальный полуавтомат модели 5702

Назначение – чистовая обработка цилиндрических колес наружного зацепления с прямым и спиральным (винтовым) зубом в условиях серийного и массового производства.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наибольший диаметр начальной окружности, мм.....320;
Модуль обрабатываемых зубчатых колес, мм 1,5–6;
Наибольшая ширина венца зубчатого колеса, мм 100.

Приводы вращения шевера и продольных подач-электрохимические, привод радиальных подач-гидравлический. Поворотная направляющая стола дает возможность шевингования с продольной, диагональной и поперечной (радиальной) подачей изделия.

Кинематическая схема станка приведена на рис. 9.3.

1. Главное движение (вращение шевера) осуществляется от электродвигателя ($N = 3$ кВт, $n = 1365/1638$ об/мин).

Расчетные перемещения:

n об/мин.эл.дв. $\rightarrow$ n об/мин шевера.

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{дв}} \frac{3}{28} \frac{A}{B} \frac{30}{32} \frac{32}{30} \frac{35}{36} = n_{\text{ш}}.$$

Откуда $\frac{A}{B} = \frac{n_{\text{ш}}}{142}.$

Шевер станка имеет десять ступеней в диапазоне 49–389 об/мин, настраиваемых посредством сменных зубчатых колес.

Шеверная головка поворачивается (относительно оси на угол 0–35° в обе стороны) для корректировки угла зацепления.

Правая бабка служит для зажима детали в центрах пинолью с помощью гидроцилиндра «а», действующего через реечную пару 11,12 и винтовую пару 13,14.

2. Цепь продольной подачи. Осуществляется с помощью электродвигателя ($N = 0,6$ кВт; $n = 1320/1584$ об/мин).

Расчетные перемещения:

n дв.об/мин. $\rightarrow S$ мм/мин,

где S – продольная подача стола.

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{дв}} \frac{1}{30} \frac{\Gamma}{D} \frac{15}{45} \frac{24}{32} t = S \frac{\text{мм}}{\text{мин}},$$

где t шаг винта продольного перемещения стола; $t = 6$ мм. Откуда $\frac{\Gamma}{D} = \frac{S}{66}.$

Перемещение собачки от одного ряда упоров к другому ряду происходит при движении поршня цилиндра M .

Расчетные перемещения (см. рис. 9.3):

1 ход цилиндра $n \rightarrow Sp$ мм; или $1,45n$ мм $\rightarrow Sp$ мм,

где Sp мм – радиальная подача консоли станка.

Подставляем в уравнение кинематического баланса числовые значения параметров: $D = m \cdot z$ (начальный диаметр реечной шестерни), где $m = 3,5$ мм, $z = 21$ и $t = 6$ мм, получаем

$$\frac{1,45n}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 21} \frac{17}{32} = \frac{Sp}{6}.$$

Откуда имеем $Sp = 0,02 \cdot n$ мм. При $n = 1$, $Sp = 0.02$ мм, при $n = n_{\max} = 15$, $Sp = 0.3$ мм.

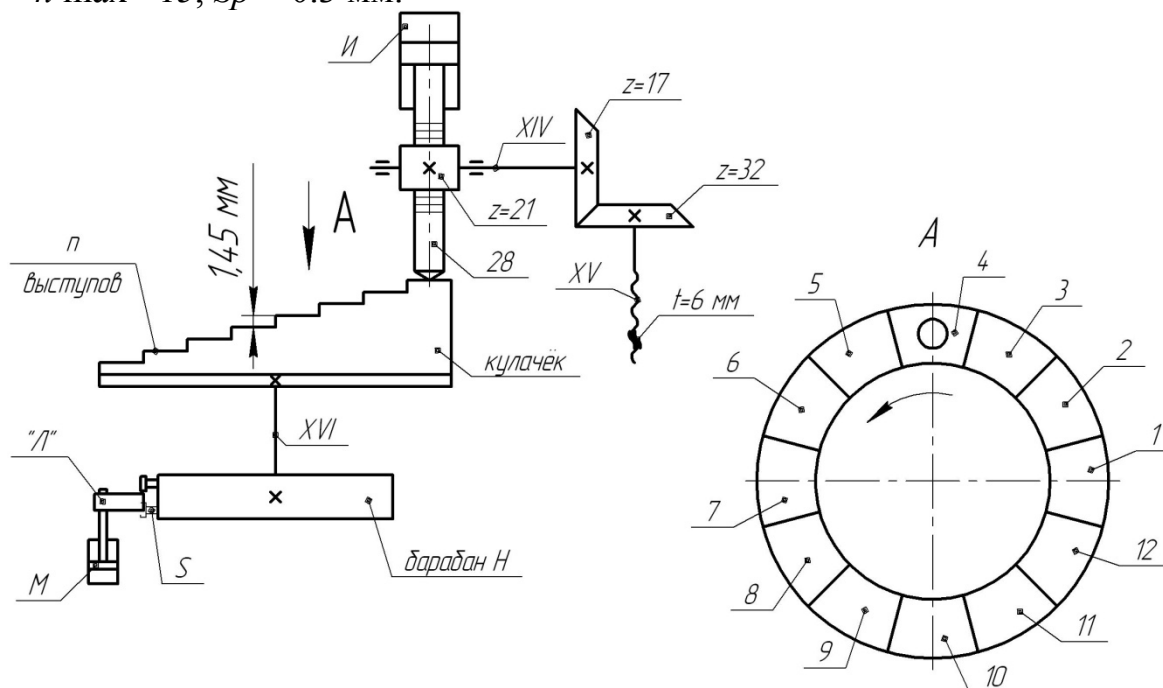


Рис. 9.4. Схема радиальной подачи

Специальным методом шевингования является обработка бочкообразных зубьев, при которой необходимо обеспечить уменьшение толщины зубьев колеса от середины их к торцам зубчатого венца. Для этого в процессе продольной подачи ось изделия наклоняется к оси шевра (рис. 9.5). Поэтому у торцов шевр снимает больший слой металла, чем в средней части зуба. Таким образом, получается бочкообразность зуба по его длине.

На зубошевинговальном станке модели 5702 изделие для придания бочкообразности зубу качается по стрелке, как показано на рис. 9.6.

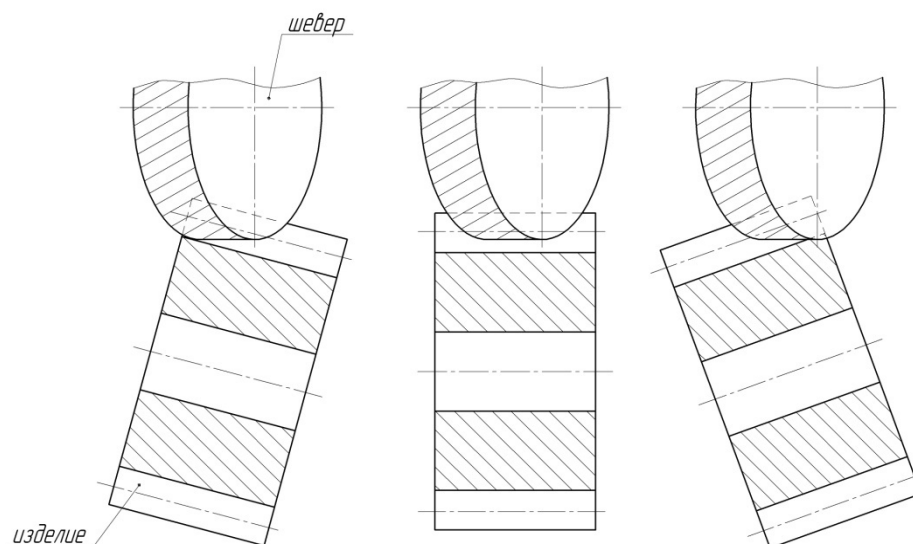


Рис. 9.5. Схема бочкообразного шевингования

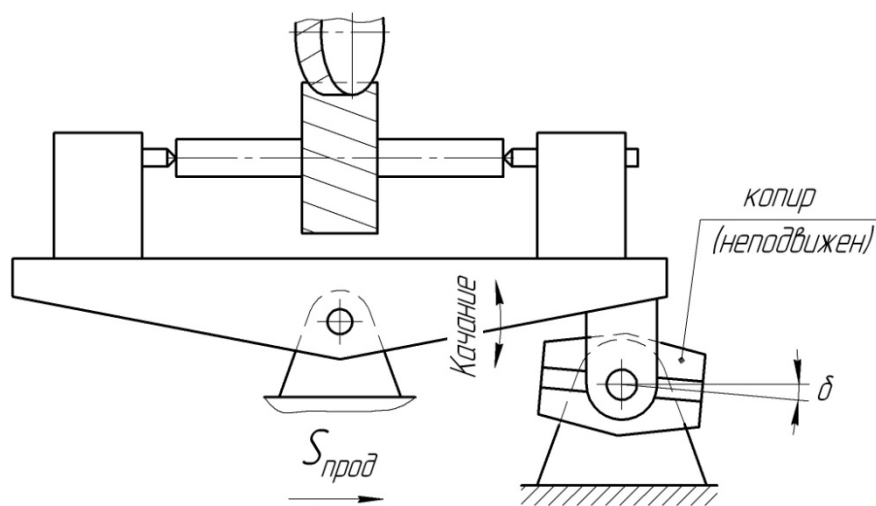


Рис. 9.6. Принцип бочкообразного шевингования зубьев на станке модели 5702

9.2. Зубошлифование

Для повышения точности и чистоты боковых поверхностей зубьев колес применяют следующие способы отделочной обработки: для термически необработанных (сырых) колес – обкатка, шевингование, приработка; для термически обработанных (закаленных колес): – обкатка, шлифование, притирка, приработка, зубохонингование, полирование. Зубошлифование применяется для устранения искажений профиля зуба, вызванные термической обработкой зубчатого колеса; обеспечивает высокую точность и шероховатость рабочих поверхностей ($Ra = 0.32\text{--}0.63$).

Шлифование зубьев цилиндрических колес может быть осуществлено методом обкатки или копирования. Метод обкатки основан на принципе зацепления колеса с зубчатой рейкой, в качестве которой служит профилирующий дисковый, тарельчатый или плоский круги. Обработка

зубьев червячным кругом также производится по методу обкатки. При копировании шлифовальному кругу придается профиль, соответствующий профилю впадины обрабатываемого колеса. Метод копирования позволяет шлифовать зубья различных профилей и форм, но требует применения сложных приспособлений для правки круга или специальных крупных шаблонов.

На заводах наибольшее распространение имеют станки, работающие методом обкатки. Шлифование зубьев на этих станках осуществляется: а) двумя тарельчатыми шлифовальными кругами, расположенными под углом $15-20^\circ$ (рис. 9.7, а), или под углом 0° (рис. 9.7, б) – станки мод.5851 и 5853; б) коническим кругом (рис. 9.7, в)-станки мод.5841 и 5842; в) плоским кругом (рис. 9.7, г) – станки мод.5891 и 5А893; г) червячным кругом (рис. 9.7, д) – станки мод 5В830, 5В832, 5В833, 5В835 и 5В836;

Последний способ является наиболее производительным из способов зубошлифования, так как обработка производится непрерывно.

По методу копирования профильным кругом (рис. 9.7, е) работают станки мод 586, 5860А, 5861 и др.

Станки, работающие по схемам (рис. 9.7, д, е), имеют сравнительно высокую производительность. Более высокую точность обеспечивают станки, работающие по схемам (рис. 9.7, а,б,г). При обработке двумя тарельчатыми кругами, расположенными под углом 0° , производительность по сравнению с обработкой кругами, расположенными под углом $15-20^\circ$, повышается на 20–30 %. Станки мод 586, 5860А, 5891 и др. позволяют обрабатывать фланкированные зубья, а станки мод. 5В835 и 5853 – кроме того, и зубья бочкообразной формы. Каждая группа станков (табл. 9.2) имеет свои особенности, обуславливающие область их рационального применения по точности, производительности, характеру производства и т.п. Основные рекомендации по выбору моделей зубошлифовальных станков для обработки зубьев с внешним зацеплением, полученные на основании технических характеристик станков, опыта их эксплуатации в промышленности и расчетных данных, приведены в табл. 9.2. Коэффициент производительности характеризует отношение времени обработки зубчатого колеса одного типоразмера на станке с червячным кругом к времени обработки этого же колеса на станках других типов.

Для обработки зубьев внутреннего зацепления по методу копирования выпускаются станки мод. 586 В и 5860 В (соответственно диаметр обрабатываемых деталей 75–400 и 250–600 мм, модуль 1–6 и 2.5–8 мм, ширина венца 80 и 100 мм, угол наклона зубьев 0° , число зубьев 25–300 и 50–240).

Станки для обработки колес с внутренним зацеплением обеспечивают 5–6-ю степень точности.

Таблица 9.2. Станки для шлифования зубчатых колес

Модели станков	Шлифовальный круг и метод обработки	Степень точности по ГОСТ 1643-56	Коэффициент производительности $K=t_1/t_n$	Время переналадки, на другой размер колеса	Целесообразная область применения
5B830	Червячный шлифовальный круг(метод обката)	5	1	0.3-0.4 (правка круга вне станка)	Мелко-серийное, серийное и крупно-серийное производст-во
5B832					
5B833					
5B835					
5B836					
586	Профильный шлифовальный круг (метод копирования)	6	0.8-1	2-2.5	Крупносерийное и массовое производст-во
5860A					
5861					
5891	Плоский шлифоваль-ный круг или тарельчатый круг (метод обкатки)	3	0.2-0.3	1.5	Серийное производство
5A893					
5841	Конический шлифоваль-ный круг(метод обкатки)	5	0.22-0.26	0.5-0.6	Индивидуальное, мелко-серийное и серийное производство
5842					
5844	Тарельчатые шлифоваль-ные круги расположены под 0^0	4	0.1-0.16	2	Мелко-серийное и серийное производс-тво
5851					
5853					

Обычно при работе на станках с тарельчатыми, плоскими и червячными кругами обеспечивают 8–9-й классы точности, при этом 9-й класс достигается при тщательном выглаживании и использовании мелкозернистых кругов. При работе на станках с конусными или профильными кругами обеспечивают шероховатость поверхности в пределах 0,63 мкм.

Недостатки шлифования – низкая производительность, нестабильная точность работы, необходимость применения сложных дорогостоящих зубошлифовальных станков, которые должны обслуживаться персоналом высокой квалификации.

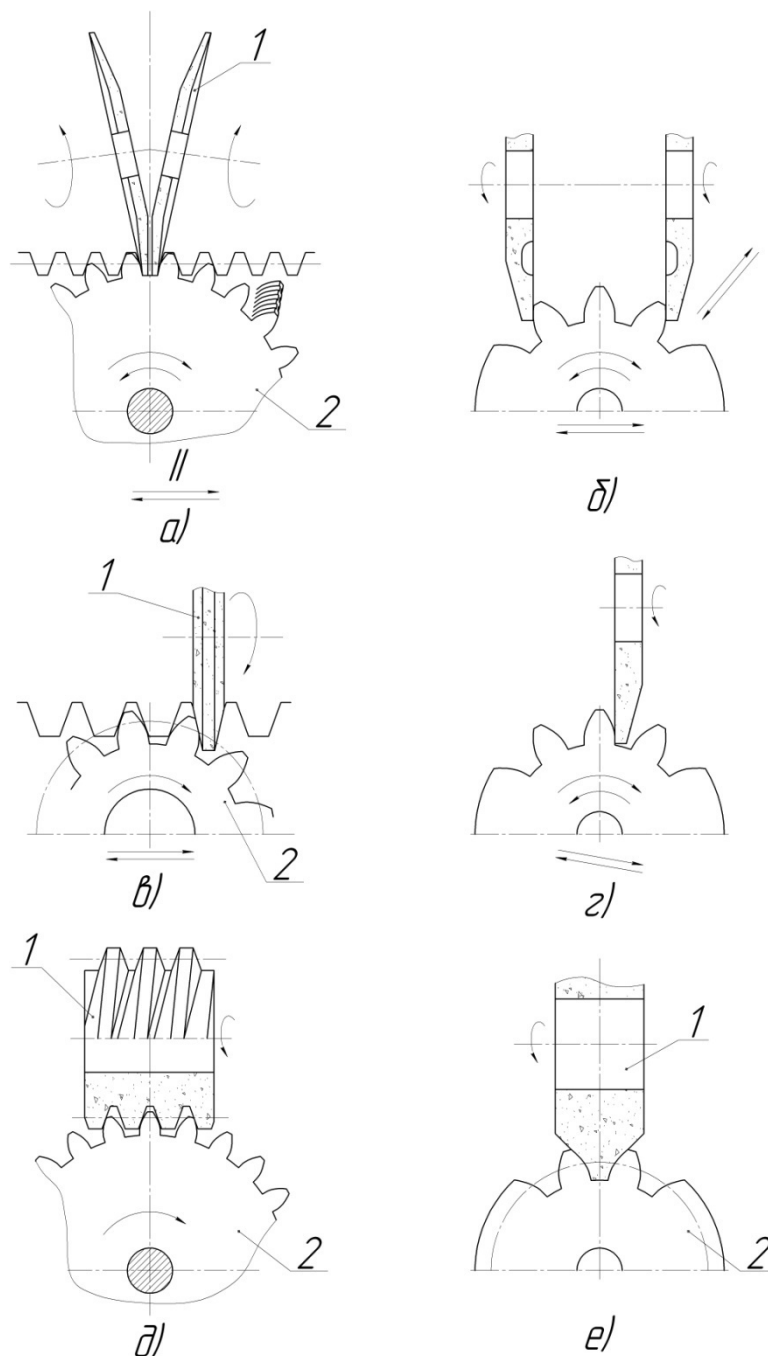


Рис. 9.7. Схемы работы зубошлифовальных станков

9.3. Зубошлифовальный станок модели 5В833

Шлифование производится абразивным червяком методом обкатки. Шлифовальные круги выполняются одно- или двухзаходными, диаметром 300–400 мм. Во время обработки шлифовальный круг получает главное вращательное движение и поступательное движение радиальной подачи. Обрабатываемое колесо вращается согласованно с вращением червячного шлифовального круга (движение обкатки), и происходит медленное движение суппорта изделия вертикальной подачи.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Модуль шлифуемого колеса, мм	0.5-4;
Наибольший наружный диаметр, мм	320;
Наибольшая ширина венца, мм	150;
Наибольший угол наклона зубьев	45°.

Кинематика зубошлифовального станка 5В833 представлена на рис. 9.8.

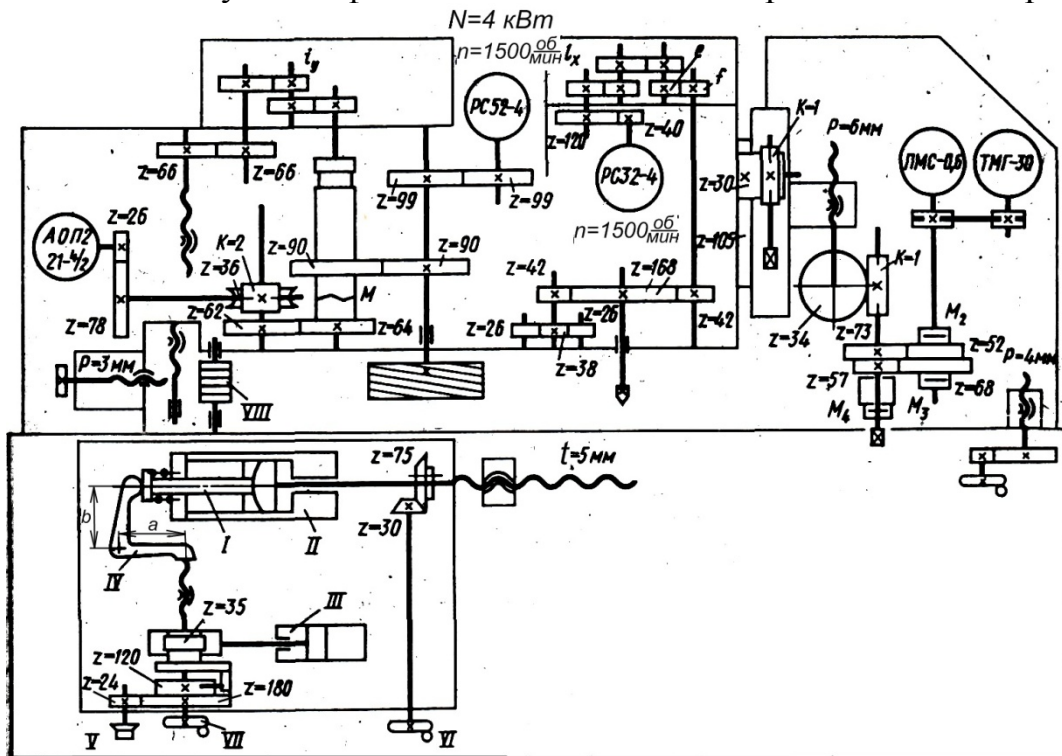


Рис. 9.8 – Кинематическая схема зубошлифовального станка модели 5В833

Назначение станка – шлифование зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес.

1. Главное движение - вращение шлифовального круга. Шлифовальный круг получает постоянную частоту вращения от синхронного электродвигателя РС52-4 ($N = 4$ кВт, $n = 1500$ об/мин). Во время шлифования зубчатого колеса муфта M_I разомкнута и шестерни $z = 90$ и $z = 90$ не зацепляются.

Расчетные перемещения:

$$n_{\text{эл.дв.}} \rightarrow n_{\text{ш.к.}}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{ЭД}} 99/99 = n_{\text{ш.к.}}$$

где $n_{ш.к.}$ – частота вращения шлифовального круга; $n_{эл.дв}$ – частота вращения электродвигателя.

2. Цепь обкатки (деления) - согласованное вращение абразивного круга и шлифуемого колеса. Особенность цепи – согласование с помощью

электрической синхронной связи (электродвигателей РС52-4 и РС32-4 с частотой вращения $n = 1500$ об/мин).

Расчетные перемещения:

$$1 \text{ об.шл.кр} \rightarrow k/z \text{ об.шлиф.шестерни},$$

где z – число зубьев шлифуемого колеса.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{99}{99} \cdot \frac{40}{120} \cdot i_x \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{42}{168} = \frac{k}{z},$$

где k – число заходов абразивного червяка ($k = 1$), i_x – передаточное отношение коробки вращения шлифуемой шестерни.

При $z = 12-32$ устанавливают сменные колеса перебора $\frac{f}{e} = \frac{60}{60}$ и тогда $i_x = \frac{12}{z}$.

При $z=24-200$ устанавливают сменные колеса перебора $\frac{f}{e} = \frac{80}{40}$ и тогда $i_x = \frac{24}{z}$.

При $z = 36-200$ устанавливают сменные колеса перебора $\frac{f}{e} = \frac{90}{30}$ и тогда $i_x = \frac{36}{z}$.

3. Цепь вертикальной подачи шлифовального круга. Направление основных движений показано на рис. 9.9.

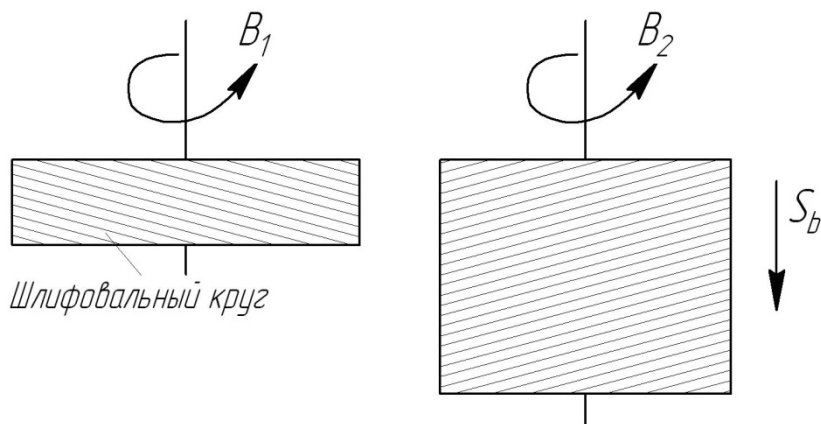


Рис. 9.9. Направления основных движений

Расчетные перемещения

$$n \text{ об/мин пмс} \rightarrow S_B \text{ мм.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$n \cdot i_n \cdot \frac{1}{34} = \frac{S_{\hat{A}}}{t},$$

где t – шаг винта; $n_{эл.дв}$ ПМС – частота вращения электродвигателя (регулируется бесступенчато, контролируется тахогенератором ТМГ-30).

Откуда

$$i_n = \frac{34 \cdot S_{\hat{A}}}{n \cdot t},$$

где i_n включает две передачи: $\frac{52}{73}$ и $\frac{68}{57}$, включаемые с помощью электромагнитных муфт.

4. Движение радиальной подачи. Рабочий осуществляет радиальную подачу бабки шлифовального круга на деталь за каждый ход детали и отвод бабки после окончания шлифования.

Цепь автоматической радиальной подачи состоит из храпового механизма ($z = 120$) и гидравлической следящей системы. Качательное движение собачке храпового механизма сообщается гидроцилиндром III через рейку, зубчатое колесо $z = 35$. Далее движение передается на ходовой винт ($t = 1.5$ мм), который получает поступательное перемещение и поворачивает рычаг IV. Рычаг IV воздействует на следящий гидрораспределитель I, в результате чего поршень II перемещает шлифовальную бабку на величину радиальной подачи, устанавливаемую лимбом V. Ручное перемещение при наладке осуществляется маховиком VI через коническую зубчатую пару 30/75 и ходовой винт с шагом $t = 5$ мм. Маховик VII служит для установки величины радиальной подачи.

Расчетные перемещения:

$$l_{р.х.гидр.} \text{ мм} \rightarrow S_{р, \text{мм}}.$$

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{l_{\delta. \delta. \delta.}}{35} \cdot \frac{1}{120} \cdot t \cdot \frac{a}{b} = S_{р},$$

где t – шаг винта, $t = 1.5$ мм, a и b плечи рычага IV.

5. Цепь правки шлифовального круга. Правка производится многониточным накатником (стальным) VIII. Накатник приводится во вращение и перемещается возвратно-поступательно вдоль оси шпинделя (строго согласованно с вращением абразивного червяка).

1) Цепь вращения шлифовального круга

Расчетные перемещения:

$$n_{э.дв} \rightarrow n_{ш.к.}$$

Уравнение кинематического баланса:

$$n_{\text{ш.к.}} \cdot \frac{26}{78} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{62}{64} \cdot \frac{90}{90} = n_{\text{ш.к.}}$$

Шлифовальный круг получает вращение от двухскоростного электродвигателя типа АОП2 ($N = 07/09$ кВт).

При $n_{эд} = 1400$ об/мин – рабочий ход, $n_{ш.к} = 25$ об/мин; при $n_{эд} = 2720$ об/мин – холостой ход $n_{ш.к} = 49$ об/мин;

2) Цепь подач накатника – возвратно-поступательное движение накатника $S_H = \pi m_H z$, мм, где z – число зубьев шлифовочного колеса, m_H – модуль нормальный шлифколеса.

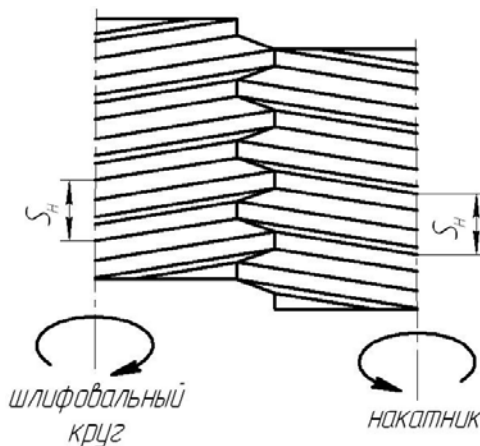


Рис. 9.10. Направление движений накатчика

Расчетные перемещения:

1 об.шл.кр $\rightarrow S_H = \pi m_H z$, мм – перемещение накатника,

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{90}{90} \cdot i_y \cdot \frac{66}{66} \cdot t = \pi \cdot m_H \cdot z$$

Откуда при заданном z находим i_y накатника:

$$i_y = \frac{\pi \cdot m_H \cdot z}{t}$$

Для отделочной и доводочной обработки зубьев находят применение способы обкатки, притирки и хонингования.

9.4. Обкатка (нагартровка)

При обкатке происходит уплотнение боковых поверхностей зубьев незакаленных колес путем пластической деформации поверхностных слоев зубьев. Для этого обрабатываемое зубчатое колесо обкатывается под нагрузкой одним или несколькими закаленными эталонными колесами, которые приводятся во вращение с частотой 1200–1500 об/мин от электродвигателя. Необходимая нагрузка создается грузом или посредством электрических, пневматических или гидравлических устройств [7, 9, 12, 13]. Давление нагрузки при обработке составляет 5–10 МПа. В результате обкатки на рабочих поверхностях зубьев образуется наклепанный слой, снижается шероховатость, устраняются заусенцы и забоины. Время обкатки составляет 1–2 мин.

Обкатка может производиться:

- а) с применением СОЖ (смесь керосина и машинного масла в соотношении 3:1 или с использованием противозадирной смеси, состоящей из минерального масла и свинцового сурика);
- б) всухою.

Прикатка позволяет устранить граненость, возникающую во время зубонарезания. Притирка представляет собой процесс искусственного износа рабочих поверхностей зубьев с помощью абразивной массы. Притирка применяется для ответственных передач с целью уменьшения шума, повышения плавности передачи и улучшения пятна контакта.

Притирку осуществляют на специальных станках со специальным чугунным зубчатым колесом или с парным колесом при усилии в 10–20 Н на один сантиметр длины зуба. В зависимости от типов применяемых станков в процессе притирки происходят следующие движения:

- а) вращение притира и колеса;
- б) осевое перемещение притира или колеса;
- в) возвратно-поступательное перемещение притира или колеса в радиальном направлении.

Процесс притирки может осуществляться как при параллельном расположении осей притира и колеса (рис. 9.11), так и при скрещивающихся (рис. 9.12), причем применение притирки в последнем случае позволяет повысить производительность.

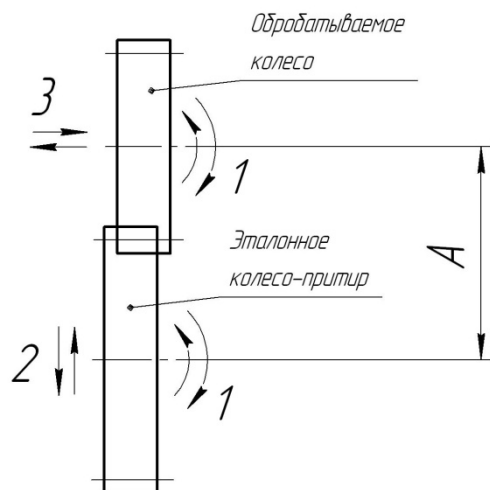


Рис. 9.11. Схема притирки зубьев на параллельных осях:

- 1 – вращение притира и колеса;
- 2 – радиальное перемещение притира или колеса;
- 3 – осевое перемещение притира или колеса

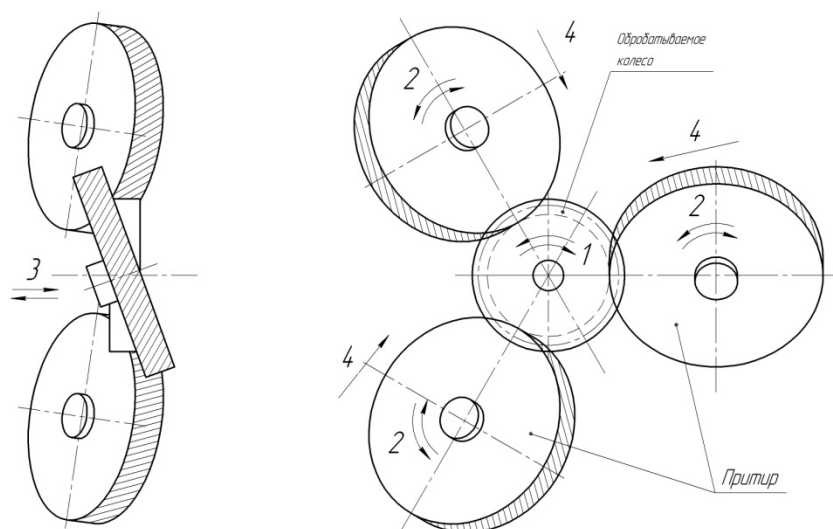


Рис. 9.12. Схема притирки зубьев тремя притирами со скрещивающимися осями:
1, 2 – вращение колеса и притиров; 3 – осевое перемещение притира или колеса;
4 – радиальное перемещение притиров;

Припуск под притирку обычно составляет не более 0.05 мм. Материалом для притиров служит мелкозернистый серый чугун СЧ 20 с твердостью НВ 170-241 или СЧ 18 с НВ 163-229 с микроструктурой мелкопластинчатого графита. Для закрепления зерен абразива в притире необходимо, чтобы пластинки графита были немного меньше зерен абразива.

В качестве притирочной смеси применяется состав из 40% корунда или электрокорунда зернистостью 230–270 и 60 % вазелиновой смазки.

Обычно притирка производится при номинальном межосевом расстоянии, поэтому толщина зубьев притира должна быть занижена на 0.05–0.08 мм.

Следует отметить, что в каждом конкретном случае для улучшения качества притираемого колеса нужно установить оптимальную величину снимаемого припуска, так как при снятии большего припуска (обычно свыше 0.05 мм) возникают дополнительные погрешности зубьев.

Притиркой можно также получать некоторые изменения размеров и формы пятна контакта. Процесс притирки позволяет достичь 6-й степени точности по ГОСТ 1643-56 при исходной точности не грубее 7-й степени и точности изготовления притиров не грубее 5-й степени точности.

Рис. 9.13 иллюстрирует принцип работы станков для притирки или обкатки конических зубчатых колес. Шестерня 1 притираемой конической пары закреплена в шпинделе ведущей бабки и вращается вместе с ним. Положение шестерни в процессе обработки не изменяется. Ведомый шпиндель станка, в котором закреплено колесо 2 притираемой пары, вращается в гильзе 3, которая может поворачиваться и закрепляться в нужном положении в эксцентрично расточенном барабане 4. Вращение ведомому шпинделю сообщается через притираемую коническую пару. На ведомом

При отклонении оси колеса в каждое из крайних положений O_1 и O_2 боковой зазор между зубьями уменьшается. Если в среднем положении зазор был минимальным, то в крайних положениях создается угроза защемления. Если, наоборот, зубчатые колеса установить с минимальным зазором в крайних положениях, то в среднем положении зазор будет увеличенный; это может привести к неполной обработке зубьев по высоте: поверхности на ножках могут остаться непритертыми. Для сохранения постоянной величины бокового зазора в притирочном станке ведомый шпиндель должен иметь

осевое перемещение с числом ходов $n_{\Gamma} = n_{\text{Б}}$, согласованное с изменением положения центра колеса.

В нагартувочном станке обработка может происходить при безззорном зацеплении; колесо прижимается к шестерне давлением пружины, вследствие чего необходимость в дополнительном механизме осевого перемещения колеса отпадает.

Таким образом, для осуществления притирки или обкатки необходимо вращение ведущего шпинделя, качание гильзы ведомого шпинделя, осевое перемещение этой гильзы пропорциональное углу ее поворота из среднего положения.

Вращение ведущего шпинделя происходит обычно с числом оборотов $n_{\text{ш}} = 1200\text{--}1500$ в минуту, не требует регулировки и осуществляется главным электродвигателем через ременную передачу.

Качание гильзы ведомого шпинделя настраивается для каждой притираемой конической пары в зависимости от суммарных величин вертикального V и горизонтального H смещения колеса относительно шестерни, необходимых для перемещения пятна контакта вдоль зуба от узкого торца к широкому и наоборот.

9.5. Зубопритирочный станок мод. 5П725

В этом станке настройка необходимой величины качания и осевого перемещения ведомого шпинделя осуществляется с помощью регулировочных устройств, введенных в соответствующую кинематическую цепь. Благодаря этому, отпадает надобность в проектировании и изготовлении для каждой притираемой конической пары специальных дисковых кулачков. Это значительно сокращает время и трудоемкость настройки притирочного станка и позволяет применить эти станки не только в массовом, но и в серийном производстве.

Станок работает по полуавтоматическому циклу. В задачу рабочего входит установка шестерни и колеса притираемой конической или гипоидной пары, контроль за введением шестерни в зацепление с колесом и включение станка. Все остальные операции – установка правильного взаимного положения колеса и шестерни, притирка одной стороны зубьев, переключение и притирка (с измененными параметрами настройки) второй стороны зубьев и остановка станка производятся автоматически.

9.6. Хонингование зубьев цилиндрических колес

Хонингование представляет собой процесс окончательной доводки зубьев цилиндрических колес с помощью зубчатого абразивного колеса – хона. Хонингованию подвергаются только зубья термически обработанных колес.

Различают две схемы зубохонингования:

а) при двухпрофильном зацеплении зубчатого хона и обрабатываемого колеса и радиальной нагрузке « в распор» (рис. 9.14, а);

б) при однопрофильном зацеплении зубчатого хона и обрабатываемого колеса и тормозном моменте на колесе (рис. 9.14, б).

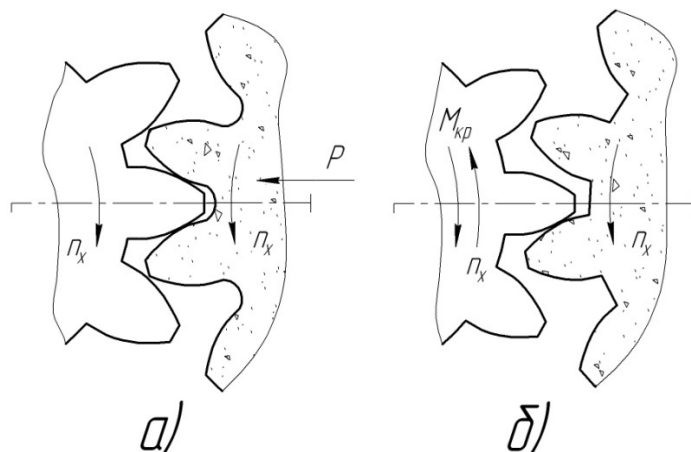


Рис. 9.14. Схемы зубохонингования:
а – при двухпрофильном зацеплении;
б – при однопрофильном зацеплении

Таблица 9.3. Зубопритирочные и обкатные (нагартовочные) станки для конических колес

Основные характеристики станка	Модель станка					
	5П720	5П722	572СП0	5П725	572СН0	5Н725
	Притирочные				Обкатные-нагартовочные	
Наибольший диаметр зубчатого колеса, мм	125	320	400	500	400/200	500
Число оборотов ведущего шпинделя, об/мин	300-2500	1360	1060	1300	1300	1300
Продолжительность цикла притирки, с	30-350	40-2400	15-94	20-180	20-180	10-60

Зубохонингование позволяет устранить небольшие заусенцы и забоины, повысить качество пятна контакта и плавность передачи, уменьшить шероховатость рабочих поверхностей зуба и уровень шума передачи.

В процессе зубохонингования обрабатываемое колесо и хон устанавливаются на скрещающихся осях. При этом происходят следующие движения:

- а) вращательное – хона и колеса;
- б) осевое возвратно-поступательное – хона или колеса;
- в) осциллирующее возвратно-поступательное – хона для некоторых типов станков с целью увеличения производительности.

Припуск под хонингование зубьев обычно составляет не более 0.02–0.03 мм на сторону зуба. Для улучшения качества обработки колеса в каждом конкретном случае следует устанавливать оптимальную величину припуска,

так как повышенный съём припуска при зубохонинговании приводит к возникновению дополнительных погрешностей.

Зубохонингование осуществляется при наличии смазки, состоящей из одинаковых частей керосина и веретенного масла.

В качестве материала для хонеров используют смесь абразива с эпоксидной смолой. Хонеры обычно изготавливаются литьем в пресс-формы.

В процессе работы хон изнашивается и подвергается правке по вершинам зубьев. Общая стойкость хонеров достигает 2–4 тыс. деталей.

Благодаря высокой производительности процесс зубохонингования получил широкое распространение в качестве отделочной операции при массовом производстве шестерен 7–8-й степени точности по ГОСТ 1643-56.

Станки для хонингования зубчатых колес аналогичны шевинговальным станкам допускают работу в распор, как при неизменном расстоянии между осями хона и детали, так и при постоянном давлении между хонером и деталью (с силой примерно до 130–150 Н).

Зубохонингование производится при окружной скорости хона, примерно в 2 раза превышающей окружную скорость шевера. Припуск, снимаемый с одной стороны профиля зуба обрабатываемого колеса, не превышает 10 мкм.

ГЛАВА 10

ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

Червячно-модульные фрезы (ЧМФ) в настоящее время широко применяются в машиностроении для зубофрезерования прямозубых и косозубых колес благодаря своей универсальности, высокой производительности и точности, возможности автоматизации процесса. Основным направлением повышения эффективности зубофрезерования червячно-модульными фрезами является повышение стойкости фрез, производительности и точности обработки зубчатых колёс [14,21].

Решение указанных задач при использовании ЧМФ возможно по нескольким направлениям.

10.1. Применение твердых сплавов для режущей части ЧМФ

К большому повышению производительности и стойкости приводит использование твердого сплава в качестве инструментального материала для изготовления фрез. Установлено, что применение твердых сплавов вместо быстрорежущих сталей позволяет повысить производительность обработки в 3–6 раз при скорости резания 100–300 м/мин.

Применяются как цельные, так и сборные конструкции твердосплавных червячных фрез. Цельные конструкции изготавливаются в диапазоне модулей 0,1–2,5 мм с наружными диаметрами 25–70 мм длиной до 90 мм и числом стружечных канавок 10–12. Особых конструктивных особенностей по сравнению с фрезами из быстрорежущих сталей они не имеют. В целях экономии твердого сплава в основном применяются твердосплавные червячные фрезы составной и сборной конструкций.

Однако твердосплавные червячные фрезы трудоемки в изготовлении. Изготовление цельных твердосплавных и сборных фрез с рейками из твердого сплава связано с технологическими трудностями получения качественных заготовок больших размеров. Поэтому на практике применяются конструкции червячных фрез с отдельными незатылованными (острозаточенными) или затылованными твердосплавными зубьями. Кроме того, использование твердосплавных червячных фрез требует модернизации или создания новых зубофрезерных станков повышенной жесткости и скорости резания.

10.2. Применение составных ЧМФ

Составные червячные фрезы являются переходным вариантом между цельной и сборной конструкциями, так как до операций финишной обработки вначале производится изготовление составных частей фрезы – корпуса, зубчатых реек, крышек, затем на определенной стадии механической обработки осуществляется соединение всех составных частей воедино, после чего фреза обрабатывается как монолитная конструкция и последующей разборке уже не подлежит. Основная задача подобных конструкций – обеспечить экономию быстрорежущей стали за счет использования ее только для изготовления режущих элементов – отдельных зубьев или зубчатых реек; корпус фрез выполняют обычно из конструкционной стали.

Существуют различные методы соединения режущих элементов с корпусом: сварка, пайка, склеивание.

Составные червячные фрезы сварной конструкции не нашли применения ввиду достаточно сложной технологии изготовления, низкого качества соединения сваркой деталей из материалов с различными коэффициентами линейного расширения. Данным методом изготавливались только крупномодульные червячные фрезы невысокой точности.

Составные червячные фрезы паяной конструкции находят ограниченное применение. Соединение режущих элементов с корпусом производится после закалки зубьев (реек) с помощью специальных припоев, имеющих температуру плавления ниже температуры начала структурных превращений быстрорежущей стали, либо непосредственно в процессе закалки.

В первом случае для пайки требуется дорогостоящий серебряный припой, технология соединения деталей и центрирования достаточно сложна; поэтому пайка низкотемпературными припоями на практике не применяется.

Во втором случае пайка в процессе термообработки осуществляется при нагреве заготовок, представляющих собой уже собранную в единое целое фрезу, до температуры закалки быстрорежущей стали, т.е. до 1220–1260 °С. При этой температуре производится перегрев корпуса, изготовленного из конструкционной стали, возникают большие внутренние напряжения; поэтому метод имеет ограниченное применение только при изготовлении крупномодульных фрез.

Достаточно перспективным методом изготовления составного инструмента является склеивание с помощью термостойких клеев. На рис. 10.1 представлена конструкция составной червячной фрезы, у которой режущие элементы – зубчатые рейки крепятся с помощью клея. Фреза состоит из корпуса 1, зубчатых реек 2 и опорных крышек 3.

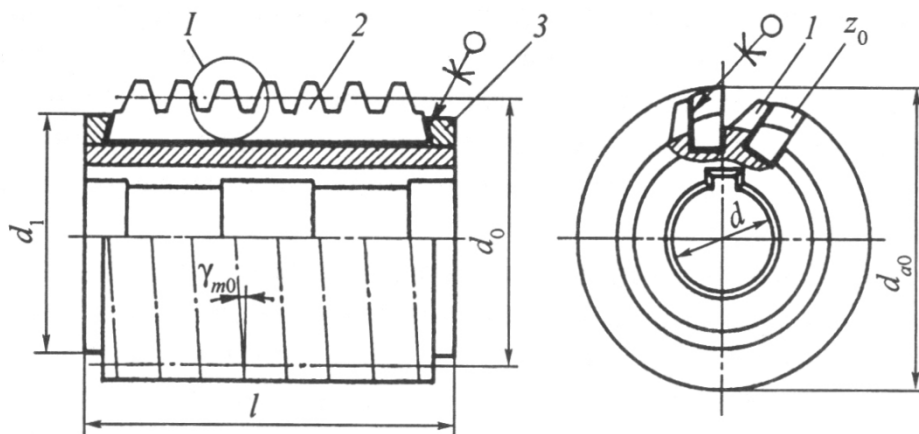


Рис. 10.1. Составная червячная фреза клееной конструкции

Зубчатая рейка изготавливается из полосовой быстрорежущей стали, что обеспечивает наименьшую трудоемкость и высокую экономию быстрорежущей стали. Корпус крышки и зубчатые рейки перед склеиванием подвергаются окончательной термической обработке. Высокой точности обработки базовых поверхностей корпуса и реек под склеивание не требуется – вполне достаточную их точность обеспечивает фрезерование.

Пастообразный клей наносится по всему периметру базовых поверхностей. Зубчатые рейки устанавливаются в пазы со взаимным центрированием, которое обеспечивается их одновременным базированием по торцовой конической поверхности одной из крышек. После этого одевается вторая крышка. Одним из рекомендуемых может быть клей марки УП-5-207, для отверждения которого изделие выдерживается при $t = 150\text{--}170\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении двух часов. В дальнейшем обработка фрез производится по технологии обычной цельной конструкции.

Данные фрезы на 25–30 % более трудоемки в изготовлении, чем стандартные монолитные фрезы, но обеспечивают от 50 до 70 % экономии быстрорежущей стали, могут изготавливаться любых классов точности по техническим требованиям ГОСТ 9324-80.

10.3. Применение сборных ЧМФ

Сборные червячные фрезы позволяют успешно решать вопросы улучшения геометрии и создания оптимальных схем срезания припуска.

Отечественный и зарубежный опыт показывает значительное повышение эффективности операции зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес при использовании сборных червячных фрез с поворотными зубчатыми рейками [15]. Фрезы с единым корпусом при исходной точности, соответствующей классу А, к концу эксплуатации снижают свою точность до класса В.

Определенный интерес представляют многосекционные червячные фрезы немецкой фирмы «Клингельберг» (рис. 10.2).

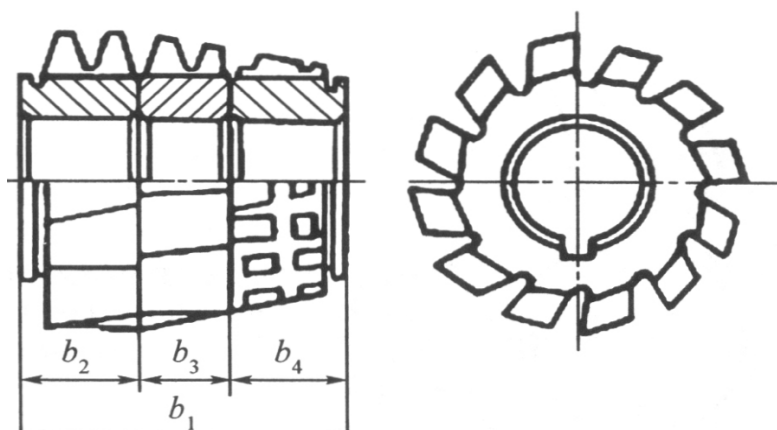


Рис. 10.2. Схема многосекционной сборной червячной фрезы фирмы «Клингельнберг»

На оправке располагаются три или четыре секции, имеющие форму одно- или полуторавитковой червячной фрезы. Две (или три) первые секции (b_3 и b_4) имеют по высоте неполный профиль зубьев, а последняя b_2 – полный. Высотная коррекция позволяет применять фрезы уменьшенной длины.

У многосекционных фрез «Клингельнберг» винтовые стружечные канавки каждой секции имеют различное направление, а угловой сдвиг секций относительно друг друга обеспечивает большее, чем у стандартных фрез, количество зубьев, одновременно участвующих в работе. В итоге повышается плавность работы фрезы. Для равномерного распределения нагрузки между зубьями в конструкции многосекционных фрез могут использоваться межсекционные кольца шириной, равной осевому шагу фрезы.

Каждая многосекционная фреза применяется для нарезания колес с определенным числом зубьев и считается фрезой определенной установки.

Сборные червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками являются наиболее прогрессивным инструментом, так как в силу ряда своих конструктивных преимуществ обеспечивают наивысшую производительность обработки зубчатых колес зубофрезерованием в условиях их массового и крупносерийного производства. Основной особенностью червячных фрез данного типа является обработка профиля зубчатых реек не на затыловочных, а на резьбошлифовальных станках без затылующего движения при установке их в такое положение в специальных технологических или рабочих корпусах, когда вершинные поверхности зубьев располагаются на цилиндрической поверхности основного червяка, а боковая – на винтовой. Таким образом, обработка профиля зубчатых реек осуществляется аналогично обработке обычной винтовой поверхности червяка, получившего название технологического червяка. Подобная установка зубчатых реек позволяет обрабатывать их профиль на всей длине зуба с высокой производительностью и точностью. После окончания обработки профиля в технологическом

корпусе зубчатые рейки переносят в рабочий корпус, пазы которого служат для установки их под необходимым задним углом по вершине, и закрепляют различными способами.

Червячные фрезы с поворотными рейками по сравнению с обычными обеспечивают: увеличение числа допустимых переточек в 2–2,5 раза, повышение производительности обработки на 30–40 % за счет лучшего качества металла, улучшенной геометрии (большие задние углы), высокого качества обработанных поверхностей зубьев.

Наибольшего распространения рассматриваемые фрезы получили в автомобильной отечественной промышленности и за рубежом. Существует большое разнообразие различных конструкций червячных фрез с поворотными рейками, наиболее распространенными из которых являются фрезы фирмы «Сампутенсили» (Италия). Данные фрезы изготавливают в диапазоне модулей 0,5–12 мм нормальной и увеличенной длины с различным числом зубьев ($Z_0 = 12–17$) одно-и многозаходными классов точности А и В по техническим требованиям, например, ГОСТ 9324-80 или DIN 3968 (стандарт Германии). Следует отметить при этом необходимость обеспечения очень высоких требований к точности изготовления посадочных мест технологического и рабочего корпусов, самих реек, взаимного центрирования зубчатых реек, надежности и стабильности их крепления.

Отличительной особенностью червячных фрез фирмы «Сампутенсили» (рис. 10.3) является наличие в корпусе 1 паза трапецевидной формы под зубчатые рейки 2. Боковые стороны паза смещены с оси корпуса, что позволяет использовать корпус в качестве рабочего, когда передняя поверхность совпадает с осевой плоскостью, а при повороте реек на 180° – в качестве технологического. С торцов зубчатые рейки крепятся крышками 3, которые, в свою очередь, закрепляются винтами 4. Недостатком конструкции является ее малая жесткость из-за свободного расположения зубчатых реек в корпусе и крепления их только с торцов.

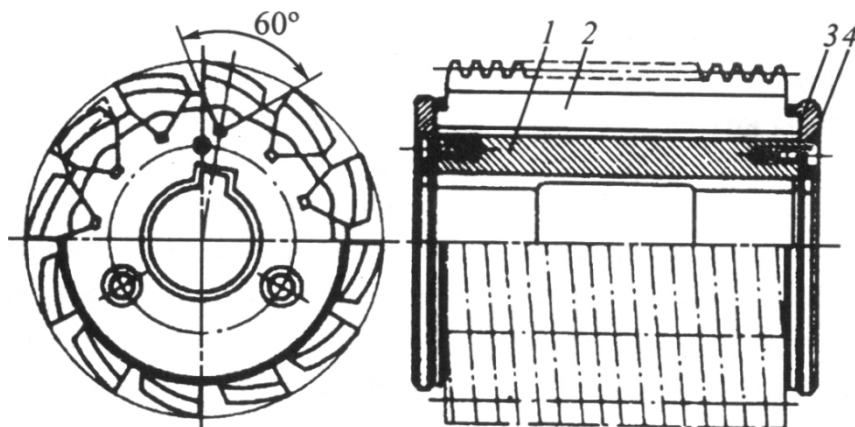


Рис. 10.3. Сборная червячная фреза с поворотными рейками фирмы «Сампутенсили»

Сборные червячные фрезы фирм «Клингельнберг» и «Заацор» (Германия) (рис. 10.4) принципиально не отличаются друг от друга. Характерной особенностью их является прямоугольная форма паза корпуса 1 и основания зубчатых реек 2. Зубчатые рейки устанавливаются в корпусе по глухой посадке, взаимно регулируются в осевом направлении и окончательно фиксируются крышками 3.

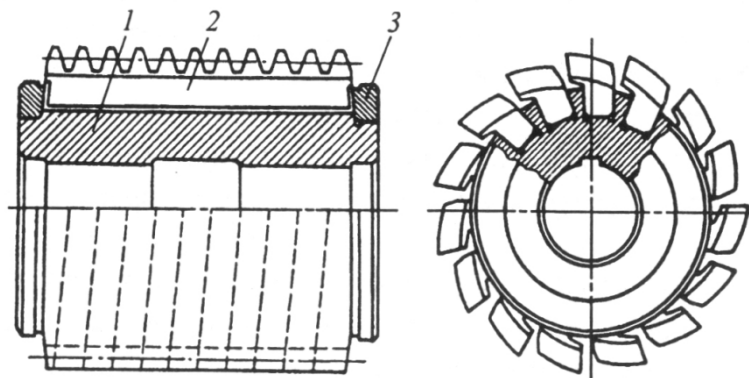


Рис. 10.4. Сборная червячная фреза с поворотными рейками фирм «Клингельнберг» и «Заацор»

Предварительная и окончательная обработка профиля зубчатых реек у фрез данного типа производится в технологических корпусах со смещением паза на размер выбранного заднего угла по вершине зубьев. Фрезы этой конструкции отличаются высокой жесткостью, но сложностью в изготовлении и сборке и требуют высокую культуру производства.

На рис. 10.5 показана сборная червячная фреза с поворотными рейками конструкции ВНИИинструмента. Фреза состоит из корпуса 1, зубчатых реек 2, закрепляемых радиальными клиньями 3 и крышками 4. Возможно также применение крепежных винтов для дополнительной фиксации крышек. Форма паза корпуса – неравнобокая трапеция, так как задняя опорная стенка паза расположена по отношению к передней стенке под углом $5-6^\circ$ для установки радиального клина. Применение радиального клина позволят более надежно центрировать рейку на ее основании и обеспечивать быструю сборку–разборку конструкции, что является большим достоинством, так как в процессе изготовления фрезы требуется часто производить ее переборку.

Обработка профиля реек производится в технологическом приспособлении, а сборка их в корпусе – с помощью специального приспособления, обеспечивающего точное взаимное центрирование.

Вопросы конструирования и расчета червячных фрез с поворотными рейками решены на примере фрез конструкции ВНИИ инструмента. Конструктивные и расчетные размеры профиля однозаходных червячных фрез модулей 1–6 мм и многозаходных червячных фрез модулей 1–10 мм приведены в [16].

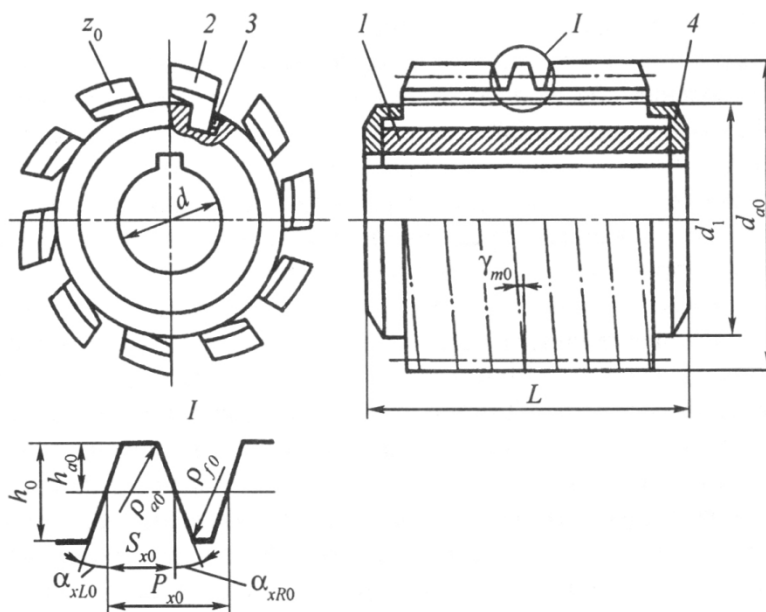


Рис. 10.5. Сборная червячная фреза с поворотными рейками конструкции ВНИИ инструмента

Конструированию червячных фрез с поворотными рейками должна предшествовать тщательная проработка новой или выбор уже имеющейся конструкции, исходя из технологических возможностей ее изготовления. Так как обработка профиля зубчатых реек производится в определенном технологическом положении (в рабочем или технологическом корпусе), то при переносе из одного положения в другое резко снижается достигнутая при финишной обработке точность. Это требует значительного ужесточения норм точности изготовления всех элементов конструкции рабочего и технологического корпусов, зубчатых реек.

Прежде всего это касается установочных баз корпусов и реек, у которых, например, радиальное биение и непараллельность основания паза корпуса осевой плоскости, неплоскостность и непрямолинейность базовых поверхностей зубчатых реек не должна превышать 0,003 мм. Без столь высоких требований к точности изготовления отдельных элементов конструкции невозможно обеспечить ее точную сборку и те требования, которые регламентируются техническими условиями на червячные фрезы. Поэтому при создании подобной конструкции следует прежде всего исходить из технологических возможностей конкретного производства.

Сборная коническая червячная фреза для нарезания зубчатых колес [17] (рис. 10.6), содержит два блока 1 и 2 с делительными конусами, обращенными вершинами навстречу друг к другу и соосными оси вращения фрезы, и расположенные на них режущие зубья с шагом вдоль образующих линий делительных конусов, равным делительному шагу нарезаемого зубчатого колеса, а профиль зубьев каждого блока соответствует исходному контуру зубчатой рейки.

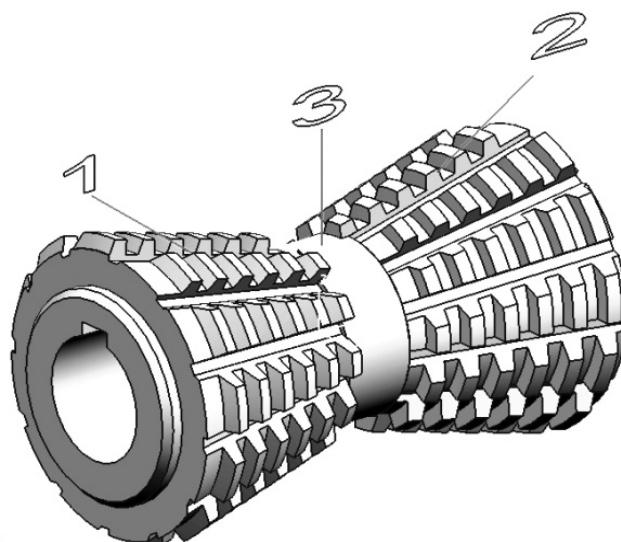


Рис. 10.6. Сборная коническая червячная фреза

Половина угла делительного конуса фрезы ϕ_k выбрана в соответствии с соотношением

$$\arctg\left(\frac{L}{d_{t1}}\right) \leq \phi_k \leq \alpha_n,$$

где L – проекция активного участка линии зацепления фрезы и зубчатого колеса на начальную прямую фрезы на каждом ее блоке;

d_{t1} – диаметр делительной окружности нарезаемого зубчатого колеса;

α_n – угол профиля исходного контура зубчатой рейки.

Значения параметров L и d_{t1} могут быть определены по известным зависимостям [18]. Между блоками фрезы установлена простановочная втулка 3 длиной S , изменяя которую можно осуществлять передвижку фрезы. При работе червячной фрезы на ее входной части (на блоке 1 или 2) осуществляется предварительное (черновое) зубофрезерование с оставлением припуска на боковых сторонах зубьев под окончательное (чистовое) зубофрезерование, которое осуществляется на выходной части фрезы (на блоке 2 или 1). Требуемая величина припуска на окончательное зубофрезерование, осуществляемое на выходной части фрезы, обеспечивается соответствующим смещением блока фрезы на ее входной части. Передвижка фрезы вдоль образующих линий делительных конусов для повышения периода ее стойкости осуществляется заменой простановочной втулки 3 на другую с измененной длиной S .

10.4. Применение многозаходных ЧМФ

Прогрессивным направлением в области черновой, получистовой и в некоторых случаях чистовой обработки является применение многозаходных червячных фрез. Эффективность их применения определяется возможностью

значительного снижения основного технологического времени по сравнению с однозаходными фрезами. Практика использования таких фрез позволяет снизить основное время зубофрезерования в 2–3 раза и повысить стойкость инструмента в 3,5–5 раз.

При конструировании многозаходных червячных фрез приходится учитывать большое количество различных факторов, которые оказывают влияние на процесс зубофрезерования. Установлено, что преимущество многозаходных фрез реализуется, прежде всего, при нарезании зубчатых колес с числом зубьев более 25 и наличии достаточно жестких и скоростных зубофрезерных станков. Уменьшение числа профилирующих режущих кромок у многозаходных фрез прямо пропорционально увеличению числа заходов. Если этот факт имеет второстепенное значение для чернового и получистового зубофрезерования, то при чистовом нарезании колес это нежелательно. Поэтому для компенсации потери точности стремятся изготавливать фрезы с большим числом стружечных канавок. При этом необходимо, чтобы число стружечных канавок фрезы не было кратно числу заходов, а число заходов не было кратным числу зубьев нарезаемого колеса, так как в этом случае компенсируются погрешности деления фрезы на заходы. Обязательным условием эффективного применения многозаходных фрез является выполнение их с увеличенной в 1,25–1,5 раза длиной по сравнению со стандартными фрезами для работы на зубофрезерных станках с осевыми перемещениями. Поэтому все современные зубофрезерные станки имеют устройства для осевых перемещений фрезы после обработки каждого колеса или заданного числа колес. Осевые перемещения способствуют обеспечению равномерного износа фрезы, увеличению времени ее работы между переточками, что позволяет значительно увеличить режимы резания и, следовательно, повысить производительность обработки зубчатых колес.

На практике многозаходные червячные фрезы изготавливаются как цельной, так и сборной конструкций.

Среди цельных конструкций следует отметить обдирочно-чистовые многозаходные червячные фрезы (рис. 10.7), изготавливаемые в диапазоне модулей 6–20 мм фирмой «Клингельнберг». Данные фрезы изготавливаются с одним или двумя черновыми заходами и по крайней мере еще с одним чистовым заходом с окончательным профилем зубьев.

Зубья отдельных черновых заходов могут выполняться с различной толщиной и высотой, оптимальной геометрией режущей части, снабжаться стружкоразделительными канавками по высоте зуба, что способствует значительному снижению сил резания, благоприятному разделению стружки и спокойной работе станка. Зубья черновых заходов фрезы обрабатывают зубья колеса начерно, а чистовой заход придает им заданный профиль.

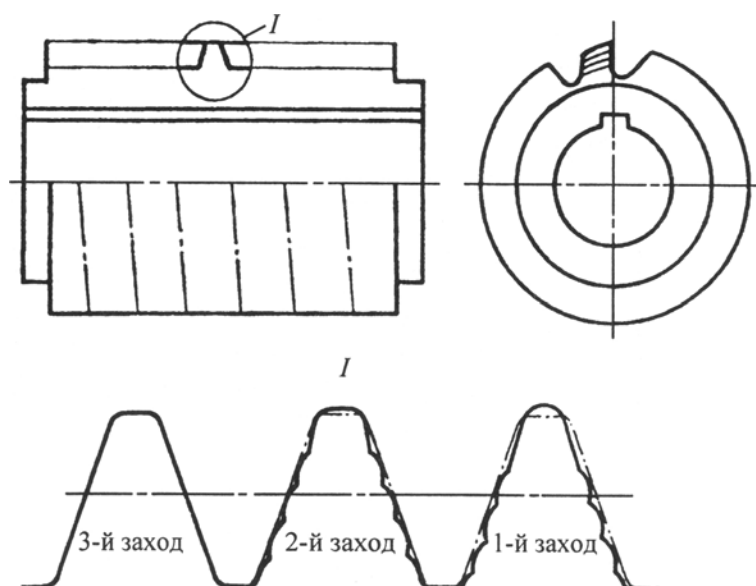


Рис. 10.7. Обдирочно-чистовая многозаходная червячная фреза фирмы «Клиндельберг»

Обязательным условием применения этих фрез является некратность числа заходов числу зубьев обрабатываемого колеса, так как после каждого оборота будет обрабатываться новая впадина колеса и тем самым будет обеспечена последовательная обработка каждой впадины чистовым заходом.

10.5. Применение ЧМФ с особым расположением стружечных канавок

Особую группу червячных фрез со специальным направлением стружечных канавок составляют черновые фрезы с крутым подъемом стружечных канавок (рис. 10.8, а), фрезы с канавками двойного направления и большими углами их подъема (рис. 10.8, б), двухсекционные фрезы с канавками левого и правого направления (рис. 10.8, в).

Обеспечение плавности зубофрезерования возможно за счет применения фрез, работающих по методу косо́го резания (рис. 10.8, г). Общим недостатком в работе этих фрез является различие в условиях стружкообразования левых и правых боковых сторон зубьев, приводящих к значительным осевым нагрузкам в шпиндельном узле станка. Использование осевых канавок (рис. 10.8, д) облегчает изготовление фрезы, повышает равномерность фрезерования и точность обработки.

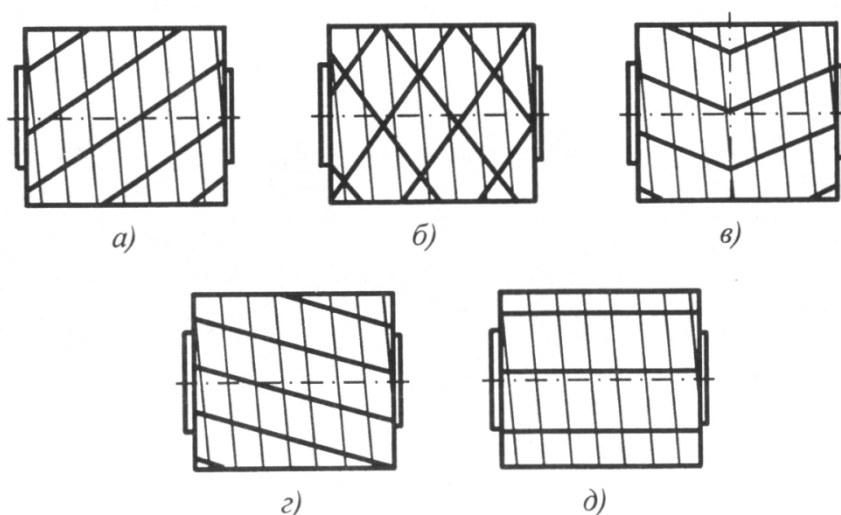


Рис. 10.8. Варианты изготовления стружечных канавок червячных фрез

Червячная однозаходная фреза с шахматным расположением зубьев для нарезания зубчатых деталей [19] (рис. 10.9), содержит последовательно расположенные по винтовой линии режущие зубья и стружечные канавки между рядами зубьев фрезы, причем зубья фрезы расположены в шахматном порядке, а число стружечных канавок между рядами зубьев фрезы равно удвоенному числу зубьев на витке, уменьшенному на единицу. Угловой шаг стружечных канавок между рядами зубьев фрезы ε_k (в градусах) равен частному от деления 360° на число стружечных канавок между рядами зубьев.

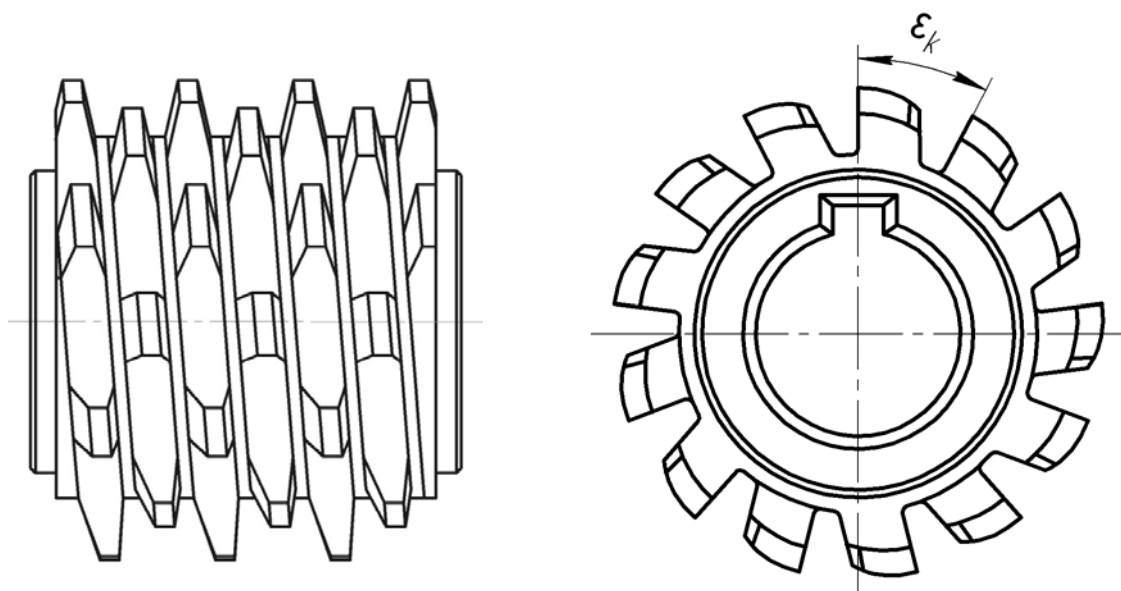


Рис. 10.9. Червячная однозаходная фреза с шахматным расположением зубьев

При работе предлагаемой червячной однозаходной фрезы благодаря увеличенному числу стружечных канавок между рядами зубьев в резании одновременно участвует большее число рядов зубьев по сравнению с

аналогичной стандартной червячной однозаходной фрезой. Это приводит к повышению равномерности фрезерования, при которой амплитуды колебаний силы резания и ее момента уменьшаются по сравнению с работой аналогичной стандартной однозаходной червячной фрезы примерно в полтора–два раза. Уменьшение амплитуд колебаний силы резания и ее момента приводит к уменьшению амплитуды колебаний в технологической системе станка и, следовательно, к повышению точности нарезаемых зубчатых деталей.

10.6. Применение червячных фрез с измененной схемой резания

Повышение периода стойкости и производительности обработки зубчатых колес возможно путем применения оптимальных схем резания на основе изучения механизма загрузки и износа зубьев червячных фрез.

ЧМФ с дополнительными вершинными режущими кромками зубьев

Для повышения производительности и увеличения стойкости червячной фрезы предложено выполнять не менее одной дополнительной вершинной режущей кромки между вершинным режущим лезвием и затылованной поверхностью зуба (рис. 10.10). С точки зрения технологии изготовления выполнение таких дополнительных кромок представляет собой трудоемкую задачу.

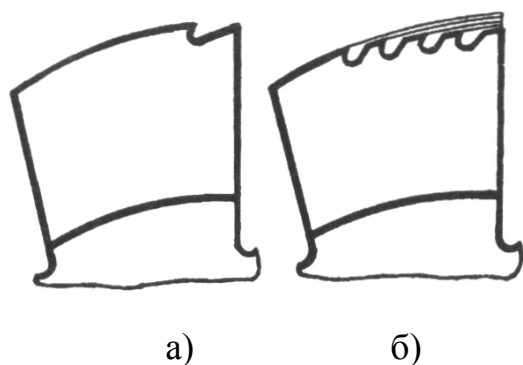


Рис. 10.10. Зуб червячной фрезы с дополнительными вершинными одной (а) или несколькими (б) режущими кромками

ЧМФ с конусной заходной частью

Повышения производительности можно добиться увеличением подачи. В этом случае для равномерного срезания припуска во впадине зубьев колеса в конструкции червячных фрез изменяется заходная часть. Наиболее простым технологическим решением является изготовление фрез с конусной заходной частью (рис. 10.11).

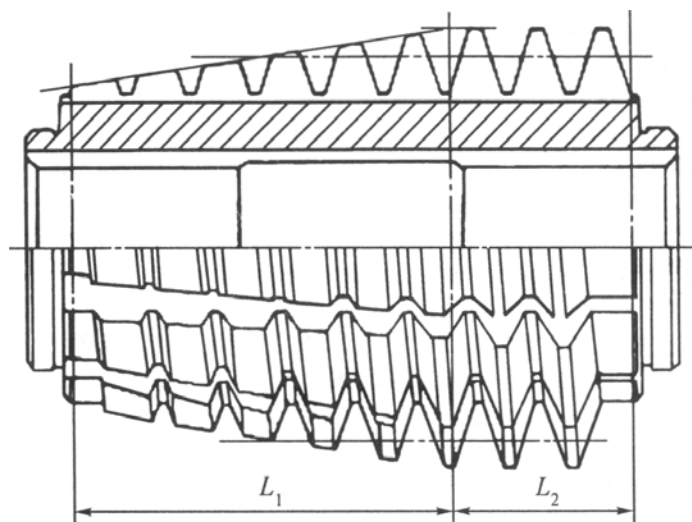


Рис. 10.11. Червячная фреза с конусной заходной частью

Вершиннонагруженная схема резания

Деформации сдвига и смятия слоя, срезаемого выходной режущей кромкой зуба фрезы, можно снизить, если стружка, срезаемая вершинной кромкой, будет меньше отклоняться в сторону выходной режущей кромки. Это можно осуществить, применив вершиннонагруженную схему резания, при которой увеличивается толщина слоя, срезаемого вершинной кромкой зубьев. Наиболее загруженные зубья фрезы с вершиннонагруженной схемой резания работают тремя кромками. Увеличение площади среза вершинными кромками зубьев немного снижает деформацию слоев, срезаемых выходными боковыми кромками.

Сущность этой схемы резания заключается в следующем (рис. 10.12): зубья фрезы вдоль витков с четными номерами (2; 4; 6; 8) занижены по высоте и режут только боковыми кромками, а зубья с нечетными номерами (1; 3; 5; 7) имеют профиль зуба стандартной фрезы и режут боковыми и вершинными режущими кромками, причем вершинные кромки срезают слои в 2 раза толще.

При использовании вершиннонагруженной схемы резания в профилировании зубьев колес участвует такое же число режущих кромок, как и у стандартных фрез. Поэтому ЧМФ с вершиннонагруженной схемой резания целесообразно применять в условиях единичного производства, где одной фрезой нарезаются колеса начерно и начисто.

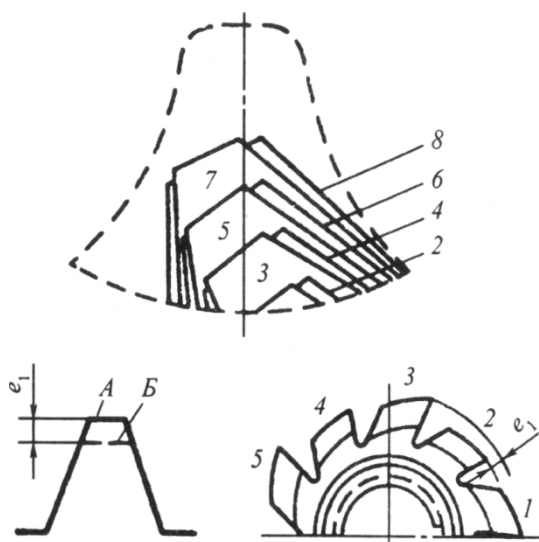


Рис. 10.12. Последовательность срезания припуска во впадине колеса и профили зубьев фрез с вершиннонагруженной схемой резания: А – профиль зубьев с нечетными номерами; Б – профиль зубьев с четными номерами

Прогрессивная схема резания с прямолинейными режущими кромками зубьев

Деформацию срезаемых боковыми кромками слоев фрез можно свести к минимуму, если нагрузку между двумя зубьями перераспределить так, чтобы одни зубья работали только боковыми кромками, а другие только вершинными. Такая схема резания названа прогрессивной. Она названа так потому, что сходна с прогрессивной схемой резания при протягивании.

На рис. 10.13 приведена прогрессивная схема резания с прямолинейными режущими кромками и профили зубьев ЧМФ. Сущность прогрессивной схемы заключается в том, что зубья фрезы вдоль витка с нечетными номерами срезают стружку вершинными кромками, в то время как зубья с четными номерами срезают стружку только боковыми кромками. Такая схема обеспечивает наименьшую величину деформации срезаемых слоев всеми режущими кромками. Для осуществления прогрессивной схемы резания необходимо, чтобы зубья с нечетными номерами были завышены и одновременно заужены относительно зубьев с четными номерами, имеющими профиль зубьев стандартной фрезы.

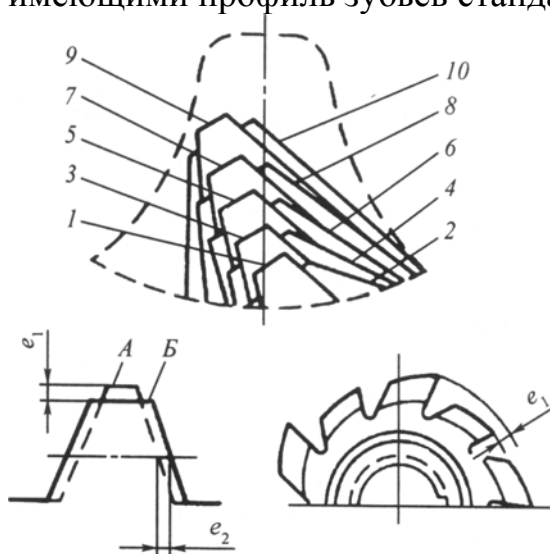


Рис. 10.13. Последовательность срезания припуска во впадине колеса и профили зубьев ЧМФ с прогрессивной схемой резания и прямолинейными режущими кромками: А – профиль зубьев с нечетными номерами; Б – профиль зубьев с четными номерами

Фрезы с прогрессивной схемой резания и прямолинейными режущими кромками зубьев имеют существенный недостаток: в профилировании зубьев колеса участвует в 2 раза меньше режущих кромок зубьев ЧМФ, чем у стандартных фрез, что увеличивает огранку зубьев колеса. Особенно значительная огранка возникает при зубофрезеровании колес с малым числом зубьев большого модуля. Поэтому эти фрезы не могут применяться для окончательной отделочной операции, но успешно применяются для зубофрезерования с последующим шевингованием, шлифованием или последующим чистовым зубофрезерованием. На заводах с массовым и крупносерийным типами производства, где применяется зубофрезерование за один рабочий ход с последующим шевингованием, рекомендуется применять данные червячные фрезы с прогрессивной схемой резания вместо стандартных.

Схема резания с попеременно нагруженными боковыми кромками зубьев

Уменьшить деформацию слоев, срезаемых боковыми кромками зубьев фрезы, можно за счет перераспределения нагрузки между зубьями так, чтобы нечетные зубья работали вершинными и правыми боковыми кромками, а четные – вершинными и левыми боковыми кромками. При такой схеме каждый зуб работает только двумя кромками, причем боковые кромки срезают слои удвоенной толщины. Стружки, срезаемые боковыми кромками зубьев фрезы имеют возможность отклоняться на большой угол, благодаря чему срезаемые слои деформируются в меньшей степени. Для осуществления такой схемы резания зубья червячной фрезы с четными номерами вдоль витка заужены только с левой боковой стороны, а зубья с нечетными номерами заужены только с правой боковой стороны (рис. 10.14).

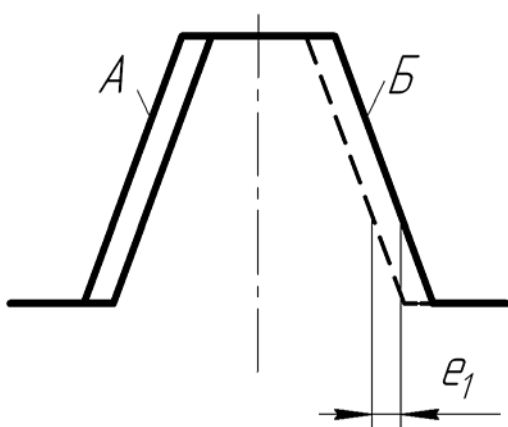


Рис.10.14. Схема резания с попеременно нагруженными боковыми кромками зубьев:
А – профиль зубьев с четными номерами;
Б – профиль зубьев с нечетными номерами

Схема резания с попеременно нагруженными боковыми кромками зубьев является промежуточной между вершиннонагруженной и прогрессивной. Стойкость фрез с попеременно нагруженными боковыми кромками несколько больше стойкости фрез с вершинонагруженной схемой

резания, но меньше стойкости фрез с прогрессивной схемой резания с прямолинейными режущими кромками. У фрез с попеременно нагруженными боковыми кромками зубьев тот же существенный недостаток, что и у фрез с вышеназванной прогрессивной схемой резания (в профилировании зубьев колеса участвует в 2 раза меньше режущих кромок зубьев ЧМФ, чем у стандартных фрез, что увеличивает огранку зубьев колеса), но значительно меньшая стойкость. Поэтому эти фрезы не представляют практического интереса.

Прогрессивная схема резания со стружкоразделительными полукруглыми канавками на вершине зуба

Червячные фрезы (рис. 10.15 со стружкоразделительными полукруглыми канавками на вершине зуба, смещенными по фазе на 90° у следующих друг за другом по винтовой линии четных 1 и нечетных 2 зубьев, обеспечивают исключение из взаимодействия стружек, снимаемых вершинной и двумя боковыми режущими кромками. Стружка в этом случае делится на три части. Все зубья фрезы имеют одинаковую номинальную толщину и высоту.

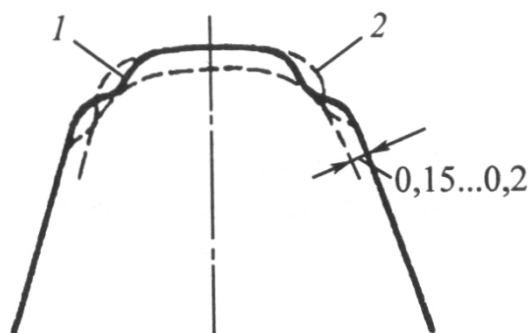


Рис. 10.15. Прогрессивная схема со стружкоразделительными полукруглыми канавками на вершине зуба

Подобная модификация профиля зубьев является наиболее благоприятной и может применяться у червячных фрез из быстрорежущей стали и твердого сплава.

Прогрессивная схема резания с волнистым профилем зуба

Для предварительного зубофрезерования зубчатых колес крупных модулей (свыше 8 мм) могут применяться червячные фрезы с волнистым профилем всей режущей кромки. Модификация профиля представляет собой волнистую режущую кромку, смещенную по фазе на 90° через один зуб и касающуюся номинального теоретического профиля зуба 1 (рис. 10.16).

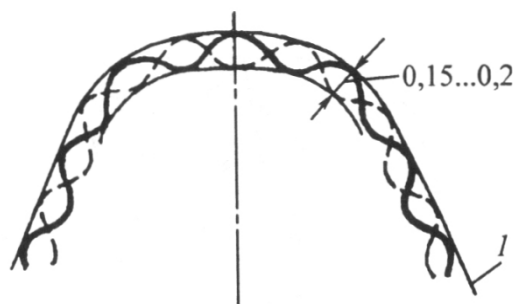


Рис. 10.16. Прогрессивная схема резания с волнистым профилем зуба

У многозаходных (двух-и трехзаходных) червячных фрез, у которых зубья первого или первого и второго заходов выполнены с волнистым профилем для предварительной обработки профиля зубчатого колеса, зубья последнего (второго или третьего) захода должны иметь номинальный стандартный профиль для окончательной обработки. Непременным условием в данном случае является обеспечение некратности числа заходов фрезы числу зубьев нарезаемого колеса.

Прогрессивная схема резания со стружкоразделительными фасками на вершине зуба

Просты в изготовлении и эффективны в эксплуатации червячные фрезы, модификация профиля зубьев которых состоит в снятии стружкоразделительной фаски под углом 40° к вершинной режущей кромке попеременно с одной стороны – правой 1 или левой 2 – у следующих друг за другом по винтовой линии зубьев (рис. 10.17). Данные фрезы обеспечивают разделение стружки на две части, тем самым повышая стойкость инструмента.

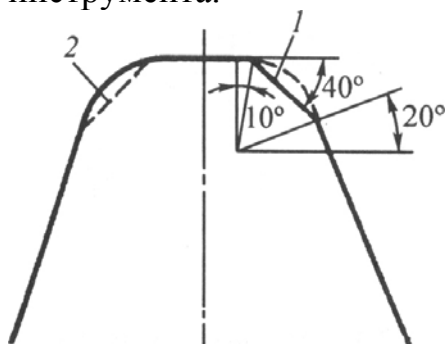


Рис. 10.17. Прогрессивная схема резания со стружкоразделительными фасками на вершине зуба

Прогрессивная схема резания с наклоном вершинных режущих кромок зуба

Червячная фреза для нарезания зубчатых деталей содержит зубья с двумя чередующимися по винтовой линии профилями режущих кромок, включающими две боковые 1, 2 и одну вершинную прямолинейную 3 режущие кромки [20] (рис. 10.18). Вершинные прямолинейные режущие кромки 3 выполнены с наклоном к оси фрезы под углом $15\text{--}20$ градусов, причем наклон на нечетных зубьях выполнен в одну сторону, а на четных

зубьях в другую сторону. Боковые режущие кромки 1 и 2 сопряжены с вершинной прямолинейной режущей кромкой 3 зуба фрезы дугами окружностей радиусами: на одной стороне вершины зуба R_2 , на другой стороне вершины зуба R_1 , значения которых соответствуют общепринятым рекомендациям на скругление вершинных режущих кромок зубьев червячных фрез [16].

При работе червячной фрезы ее вершинные прямолинейные режущие кромки 3 срезают слой материала заготовки не на всю ширину дна впадины зубьев (как это происходит при работе стандартной фрезой), а примерно на ее половину: один из зубьев фрезы (например, нечетный) удаляет слой материала заготовки, подлежащего срезанию на дне впадины зубьев, примерно наполовину ширины дна впадины зубьев, а следующий за ним зуб фрезы (четный) удаляет оставшийся по ширине на дне впадины зубьев слой материала заготовки. При предлагаемом расположении вершинных прямолинейных режущих кромок 3 стесненное резание имеет место только на одной стороне вершинной прямолинейной режущей кромки, при этом ее другая сторона в резании не участвует. Из-за уменьшения ширины срезаемого на дне впадины зубьев слоя материала заготовки, увеличивается его толщина.

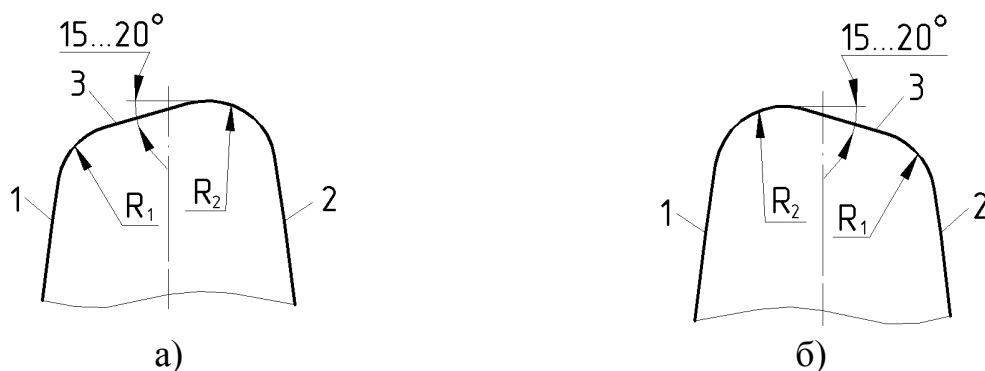


Рис. 10.18. Профили режущих кромок зубьев червячной фрезы с наклоном вершинных режущих кромок зуба: а – нечетных зубьев; б – четных зубьев

Сравнение некоторых схем резания по периоду стойкости ЧМФ

Все предлагаемые типы фрез с измененными схемами резания преследуют одну цель: разделить стружки, срезаемые боковыми и вершинной режущими кромками, т.е. снизить деформацию стружки заменой П-образных и Г-образных срезов на более простые. Такое изменение схемы резания приводит к значительному снижению износа режущих кромок инструмента. Однако следует иметь в виду, что при использовании фрез с измененной схемой резания часть режущих кромок снимают удвоенный припуск.

В практике данные мероприятия реализуются за счет изменения схемы резания стандартных червячных фрез [14].

На рис. 10.19. приведены кривые износа зубьев ЧМФ, полученные для одинаковых условий зубофрезерования, стандартной фрезой и фрезами с

вершиннонагруженной схемой резания, с попеременно нагруженными боковыми кромками зубьев и прогрессивной схемой резания с прямолинейными режущими кромками зубьев. Из выше сказанного и приведенных на рис. 10.19 кривых износа зубьев ЧМФ следует, что из рассмотренных схем резания наибольший интерес представляют вершиннонагруженная и прогрессивная с прямолинейными режущими кромками зубьев.

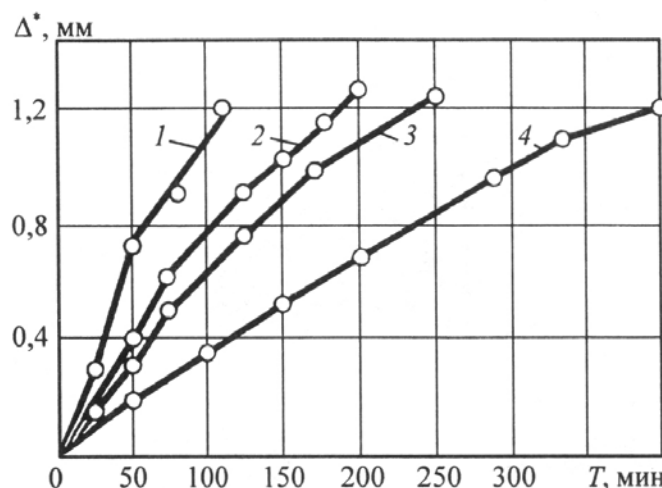


Рис. 10.19. Влияние износа фрез Δ^* с различными схемами резания на период их стойкости: 1 – стандартная фреза; 2 – фреза с вершиннонагруженной схемой резания; 3 – фреза с попеременно нагруженными боковыми режущими кромками зубьев; 4 – фреза с прогрессивной схемой резания и прямолинейными режущими кромками зубьев

10.7. Применение ЧМФ с положительными передними и увеличенными задними углами

Повышения стойкости инструмента можно достичь также выбором оптимальной геометрии режущей части. Во многих работах проводятся исследования и даются рекомендации по выбору значений передних и задних углов червячных фрез. Так в работе [21] предлагается назначать передние углы до 15° , а задние углы – от 9 до 15° . В результате такой геометрии усилия резания снижаются на 30–40 %, а подачу можно увеличить на 40–50 %.

Червячная фреза с плоской передней поверхностью зубьев и прямолинейными режущими кромками

Червячная модульная фреза принадлежит к группе фрез с затылованным зубом, т.е. у нее режущий зуб по задней поверхности очерчен по архимедовой спирали (рис. 10.20, а), обеспечивающей постоянство профиля режущих кромок после переточки.

Зуб червячной фрезы имеет три режущих кромки – одну вершинную aa и две боковые ab (рис. 10.20, в). Для вершинной режущей кромки aa

задний угол α_a определяется как угол между касательной линией к окружности фрезы и касательной к задней поверхности (рис. 10.20, а).

Передний угол γ_a определяется как угол между передней поверхностью и радиальным направлением, проходящим через вершину зуба. Для чистовых фрез обычно $\gamma_a = 0^\circ$. Для боковых режущих кромок ab задний угол α_x определяется из развертки на плоскость делительного цилиндра диаметра d_0 (рис. 10.20, б). Значение заднего бокового угла α_x определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_a \cdot \operatorname{tg} \alpha_o,$$

где α_a – задний угол на вершине зубьев; α_o – угол зацепления.

У затылованного зуба фрезы различают также величину затылования K , которую определяют из выпрямленного треугольника amn (рис 10.20, г):

$$K = \frac{\pi d_0}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_a,$$

где d_0 – наружный диаметр фрезы, мм; z_0 – число зубьев фрезы.

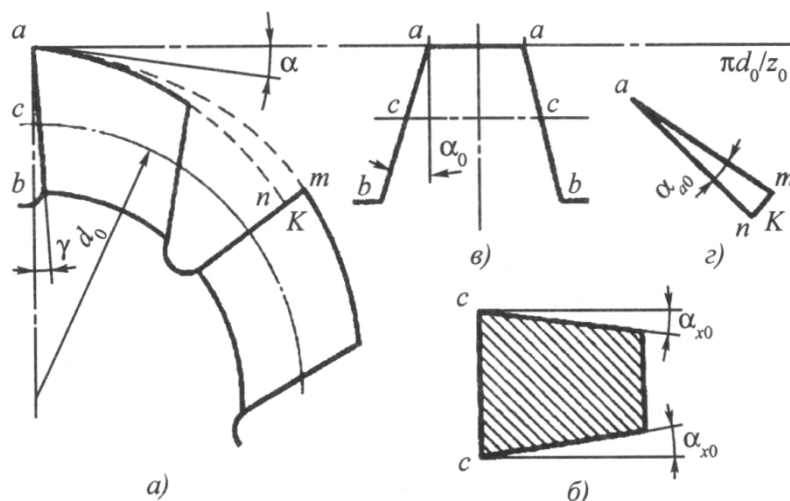


Рис. 10.20. Зубья червячно-модульной фрезы с положительными передними углами и прямолинейными режущими кромками в плоскости передней поверхности зубьев

Применение ЧМФ с положительными передними углами и прямолинейными режущими кромками в плоскости передней поверхности зубьев приводит к снижению точности профиля зубьев обрабатываемых колес. При выполнении ЧМФ на основе эвольвентного червяка величина переднего угла практически не влияет на точность профиля зубьев колес, но появляется сложность при изготовлении и эксплуатации таких фрез, связанная с обеспечением криволинейного профиля режущих кромок зубьев и его контролем. Замена криволинейного профиля режущих кромок зубьев дугообразным существенно облегчает обеспечение требуемого профиля и его контроль.

Червячная фреза с плоской передней поверхностью зубьев и дугообразными режущими кромками

Червячно-модульная фреза на основе эвольвентного червяка для нарезания цилиндрических зубчатых колес [22], содержит зубья с двумя боковыми 1, 2 и одной вершинной 3 режущими кромками в плоскости передней поверхности зуба (рис. 10.21). Боковые режущие кромки 1 и 2 выполнены по дугам окружностей, расположенными так, что для каждой дуги окружности величина среднего арифметического расстояния ΔL_i от ее i -х точек до линии пересечения соответствующей боковой стороны эвольвентного червяка 4 и 5 с плоскостью передней поверхности зуба, проходящей через точки 6 или 7 пересечения дуги окружности 1 или 2 с делительным цилиндром фрезы 8, имеет минимальное значение.

При работе червячно-модульной фрезы боковые режущие кромки 1 и 2 ее зубьев, срезая слой металла во впадине зубьев обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса, одновременно осуществляют профилирование боковых сторон зубьев колеса. Так как боковые режущие кромки зубьев червячно-модульной фрезы 1 и 2, выполненные по дугам окружностей, максимально приближены к теоретически требуемому профилю зубьев червячно-модульной фрезы, то точность профиля зубьев нарезаемых цилиндрических колес предлагаемой червячно-модульной фрезой получается высокой при обеспечении технологичности конструкции фрезы (дуга окружности является более технологичной кривой, чем теоретически требуемый профиль боковых сторон зубьев фрезы).

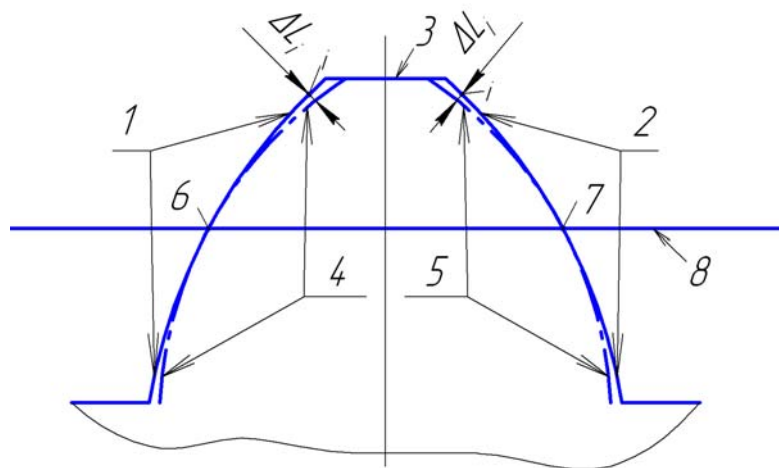


Рис. 10.21. Дугообразные режущие кромки зубьев ЧМФ в плоскости их передней поверхности

ЧМФ с вогнутой передней поверхностью

Червячная фреза для нарезания зубчатых деталей [23] содержит зубья высотой H с передней поверхностью, выполненной вогнутой в пределах высоты h профиля зуба фрезы с образующей в виде дуги окружности радиуса

R с центром в точке O_R в плоскости перпендикулярной к оси фрезы и положительным оптимальным передним углом на вершине зуба γ_a (на наружном диаметре фрезы D_a , рис. 10.22). Величина радиуса R дуги окружности определяется по формуле:

$$R = \frac{h}{\sin \gamma_a - \sin \gamma_f},$$

где h – высота профиля зуба фрезы;

γ_a – величина оптимального переднего угла на вершине зуба;

γ_f – величина переднего угла на расстоянии h от вершины зуба в направлении к оси фрезы (на диаметре основания ножки зуба D_f).

При работе червячной фрезы срезаемый слой металла сходит по передней поверхности зуба фрезы, подвергаясь минимальным деформациям благодаря оптимальному значению переднего угла на вершине зуба, причем из-за предлагаемой формы передней поверхности повышается прочность зуба и улучшается теплоотвод в тело фрезы. В результате снижаются силы резания и температура в зоне резания, что приводит к повышению периода стойкости фрезы. Для червячных фрез на основе эвольвентного, конволютного или архимедова червяков выполнение передней поверхности зуба вогнутой с образующей в плоскости перпендикулярной к оси фрезы в виде дуги окружности радиуса R не приводит к искажению профиля зубьев обрабатываемого колеса [18].

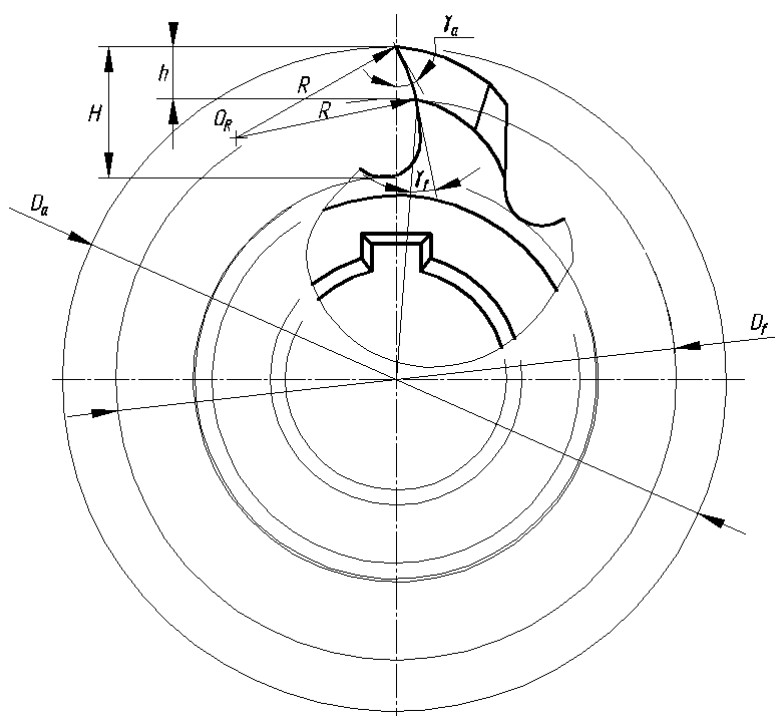


Рис. 10.22. Сечение зуба ЧМФ с вогнутой передней поверхностью в плоскости перпендикулярной к ее оси

Известную трудность при изготовлении и эксплуатации таких фрез представляет обеспечение криволинейного профиля зубьев и его контроль.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Настройка цепи дифференциала (гитары сменных колес)

Произвести настройку гитары дифференциала для нарезания цилиндрического косозубого колеса с параметрами: $m_H = 3$ мм, число зубьев $z = 60$, угол наклона зуба $\beta = 34^{\circ}30'36''$, фреза червячная однозаходная $k = 1$, ширина зубчатого колеса 300 мм, класс точности 7.

Подбор сменных зубчатых колес для гитары дифференциала производится по формуле:

$$\frac{a_2 c_2}{b_2 d_2} = \frac{7,95775 \times \sin \beta}{m_H \times k} = \frac{7,95775 \times \sin 34^{\circ}30'36''}{3 \times 1}.$$

Так как числовой коэффициент 7.95775 и величина $\sin 34^{\circ}30'36''$ являются иррациональными числами, подбор числа зубьев представляет определенные трудности.

В технической литературе имеются справочники с таблицами сменных колес, составленными для нарезания зубчатых колес с различными углами наклона винтовой линии. При отсутствии таких справочников для расчета сменных колес пользуются «методом произвольных постоянных».

Умножаем левую и правую части полученного уравнения на одно и то же произвольное число, которое обычно выбирается из ряда чисел зубьев комплекта сменных колес (таблица А.1).

Примем за коэффициент цифру 71, получаем:

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot 71 = 1.5028 \cdot 71.$$

Таблица А.1. Сменные колеса гитары дифференциала зубофрезерного станка

Обозначение	Перечень сменных колес
a_2, b_2 c_2, d_2	23, 24, 25, 30, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 95, 97, 98, 100

или

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot 71 = 106.700291.$$

Ограничимся для дальнейших вычислений числом 106.7.

Тогда:

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot 71 = \left(106 + \frac{7}{10} \right),$$

откуда

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot 71 = \frac{1067}{10}.$$

После разбивки данной дроби на множители, находим

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot 71 = \frac{1067}{10 \cdot 71} = \frac{11 \cdot 97}{10 \cdot 71} = \frac{55 \cdot 97}{50 \cdot 71}.$$

Полученное отношение чисел зубьев сменных колес не удовлетворяет условию сцепляемости

$$a_2 + b_2 > c_2 + 15,$$

$$c_2 + d_2 > b_2 + 15.$$

Поэтому сделаем перестановку чисел зубьев, а именно сделаем:

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{97}{50} \cdot \frac{55}{71}.$$

Теперь условие сцепляемости выполняется.

Находим величину отклонения угла наклона зуба, вычислив синус угла

$$\sin(\beta_1) = \frac{\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot m_H}{7.95775} = \frac{\frac{97}{50} \cdot \frac{55}{71} \cdot 3}{7.95775} = 0.56654846.$$

Расчетное значение угла наклона $\beta_1 = 34^\circ 30' 35,59''$.

Погрешность направления зуба цилиндрического колеса измеряется у торца колеса на цилиндре, проходящем приблизительно посередине высоты зуба и обозначается ΔB (рис. А1, б).

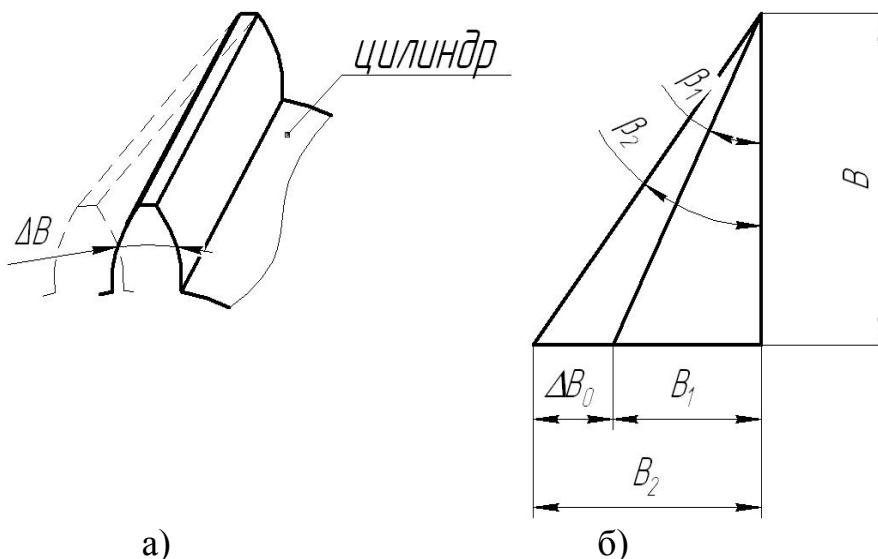


Рис. А1. К расчету погрешности наклона зуба

На рис. А1, б показана расчетная схема для определения $\Delta\beta$, на которой наклонными линиями изображены направления зубьев требуемого и действительного, определяемые углами наклона β_2 и β_1 .

Из схемы следует

$$\operatorname{tg}(\beta_1) = \frac{B_1}{B} \quad \operatorname{tg}(\beta_2) = \frac{B_2}{B}$$

Следовательно, можем записать

$$\frac{B_2 - B_1}{B} = \operatorname{tg}(\beta_2) - \operatorname{tg}(\beta_1),$$

или

$$B_2 - B_1 = (\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1) \cdot B.$$

Так как $B_2 - B_1 = \Delta B_0$, то $\Delta B_0 = (\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_1) \cdot B$.

Нарезаемое зубчатое колесо считается годным, если соблюдено условие:

$$\Delta B_0 \leq \delta B_0,$$

где δB_0 – допускаемая погрешность.

Расчет сменных колес гитары дифференциала для рассматриваемого примера. По таблицам находим тангенсы расчетного и заданного углов наклона зуба:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\beta_2) &= \operatorname{tg}34^\circ30'36'' = 0.68753796; \\ \operatorname{tg}(\beta_1) &= \operatorname{tg}34^\circ30'35'' = 0.68753642. \end{aligned}$$

Погрешность направления зуба

$$B_0 = (0.68753796 - 0.68753642) \times 300 = 0.000462 \text{ мм}$$

Допускаемое отклонение направления зуба по ГОСТ 1643-53 (табл. А.2):

$$\delta B_0 = 28 \text{ мкм} = 0.028 \text{ мм}.$$

Таблица А.2. Величины отклонений для колес 6 и 7 степени точности

Степень точности	Обозначение отклонений	Модуль нормальный $m_H, \text{мм}$	Размерность	Ширина колеса, мм							
				до 55	55-110	110-160	160-220	220-320	320-450	450-630	630-900
6	δB_0	об.1 до 16	мкм	13	15	17	19	22	26	32	40
7	δB_0	об. 1 до 30	мкм	17	19	21	24	28	34	40	50

Полученная погрешность ΔB_0 значительно меньше допускаемого отклонения δB_0 , т.е. $0.000462 < 0.028$ мм. Следовательно сменные колеса гитары дифференциала подобраны правильно. Если $\Delta B_0 > \delta B_0$, то делается перерасчет чисел зубьев сменных колес.

Если условие $\Delta B_0 < \delta B_0$ не выполняется, а полученное число сменных зубчатых колес не раскладывается на другие сомножители, воспользуемся более универсальным способом для получения дробей, а именно «методом непрерывных дробей».

Непрерывной дробью называется выражение следующего вида:

$$a + \frac{1}{b + \frac{1}{c + \frac{1}{d + \frac{1}{e + \dots}}}}$$

где a, b, c, d, e – целые положительные числа.

Превратим число 1.09707474 в непрерывную дробь, записав сперва это число как обыкновенную дробь:

$$1.09707474 = \frac{109707474}{100000000}.$$

Чтобы превратить обыкновенную дробь в непрерывную нужно разделить числитель обыкновенной дроби на ее знаменатель. Получим первое частное и первый остаток.

В нашем случае получим:

$$1.09707474 : 100000000 = 1 (\text{первое частное}) \text{ и } 9707474 (\text{первый остаток}).$$

После этого делим знаменатель дроби на первый остаток.

Получим второе частное и второй остаток, т.е.

$$100000000 : 9707474 = 10 (\text{второе частное}) \text{ и } 2925260 (\text{второй остаток}).$$

Затем делим первый остаток (знаменатель предыдущей дроби) на второй остаток, получим:

$$9707474 : 2925260 = 3 (\text{третье частное}) \text{ и } 931694 (\text{третий остаток}). \text{ Далее}$$

делим второй остаток на третий остаток:

$$2925260 : 931694 = 3 (\text{четвертое частное}) \text{ и } 130178 (\text{четвертый остаток}).$$

Продолжаем делить каждый предыдущий остаток на вновь получаемый остаток:

$$931694 : 130178 = 7 (\text{пятое частное}) \text{ и } 20448 (\text{пятый остаток}).$$

$$130178 : 20448 = 6 (\text{шестое частное}) \text{ и } 7480 (\text{шестой остаток}).$$

$$20448 : 7480 = 2 (\text{седьмое частное}) \text{ и } 5468 (\text{седьмой остаток}).$$

$$7480 : 5468 = 1 (\text{восьмое частное}) \text{ и } 2022 (\text{восьмой остаток}).$$

и т.д.

Последовательное деление каждого предыдущего на получаемый последующий остаток в конечном случае дает результат без остатка. Обычно для таких дробей точность будет достаточной уже на шестом – седьмом делении. Составим теперь непрерывную дробь, при этом за знаменатель каждого числа непрерывной дроби примем полученные частные.

Итак

$$1.09707474 = 1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3 + \frac{1}{7 + \frac{1}{6 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \dots}}}}}}}$$

Для получения приближенного значения дроби непрерывную дробь прерываем на каком либо члене, отбрасывая остальные. В нашем примере, отбросив члены дроби, начиная со второго получим первое приближение:

1.

Прервав непрерывную дробь на втором члене получим второе приближение:

$$1 + \frac{1}{10}$$

Прервав дробь на третьем члене, получим третье приближение

$$1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3}}$$

Последующие приближения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3}}} & \quad ; \quad 1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3 + \frac{1}{7}}}} \\ 1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3 + \frac{1}{7 + \frac{1}{6}}}}} & \quad ; \quad 1 + \frac{1}{10 + \frac{1}{3 + \frac{1}{3 + \frac{1}{7 + \frac{1}{6 + \frac{1}{2}}}}}} \end{aligned}$$

Теперь обратим каждую прерванную дробь в обыкновенную:

$$\begin{aligned} 1; \quad \frac{11}{10} \quad ; \quad \frac{(11 \cdot 3) + 1}{(10 \cdot 3) + 1} = \frac{34}{31} \quad ; \quad \frac{(34 \cdot 3) + 11}{(34 \cdot 3) + 10} = \frac{113}{103} \quad ; \quad \frac{(113 \cdot 7) + 34}{(103 \cdot 7) + 31} = \frac{825}{752} \quad ; \\ \frac{(825 \cdot 6) + 113}{(752 \cdot 6) + 103} = \frac{5063}{4615} \quad ; \quad \frac{(5063 \cdot 2) + 825}{(4615 \cdot 2) + 752} = \frac{10951}{9982} \end{aligned}$$

Из приведенных дробей наиболее точный результат дает последняя дробь 10951/9982. Но она имеет пятизначный числитель, для такой дроби двухпарный подбор сменных шестерен из имеющегося комплекта невозможен.

Высокую точность дает и дробь 5063/4615. Числитель имеет множители: $5063=61 \cdot 83$, а знаменатель $4615=5 \cdot 13 \cdot 71$, следовательно:

$$\frac{5063}{4615} = \frac{61.83}{5 \cdot 13.71} = \frac{61.83}{65.71}.$$

В комплекте сменных колес числа зубьев 61, 65, 71 и 83 имеются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонюк, В. Е. В помощь молодому зуборезчику / В. Е. Антонюк, А. И. Рубинчик. – Мн.: Беларусь, 1972. – 320 с.
2. Кедринский, В. И. Станки для обработки конических зубчатых колес / В. И. Кедринский, К. М. Писманик. – М.: Машиностроение, 1967. – 584 с.
3. Коновалов, Е. Г. Диагональное зубофрезерование / Е. Г. Коновалов, Ф. Ю. Сакулевич. – Мн.: Наука и техника, 1968. – 104 с.
4. Лоскутов, В. В. Зуборезные станки / В. В. Лоскутов. – М.: Машиностроение, 1967. – 41 с.
5. Металлорежущие станки : учебник для машиностроительных втузов / под ред. В. Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
6. Федотенок, А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А. А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
7. Сахно, Ю. А. Гидравлика, гидроприводы и гидропневмоавтоматика : учебное пособие / Ю. А. Сахно, В. И. Жиганов, В. П. Иванов, Е. Ю. Сахно. – Ульяновск: УГСХА, 2004. – 155 с.
8. Жиганов, В. И. Совершенствование технологической системы металлорежущих станков / В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно, Е. Ю. Сахно. – Ульяновск: УГСХА, 2009. – 180 с.
9. Гидравлический следящий привод / под ред. В. А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1968. – 564 с.
10. Пуш, А. В. Расчет и проектирование гидростатических опор. Ч. 1. Гидростатические подшипники / А. В. Пуш. – М.: Мосстанкин, 1978. – 48 с.
11. Сахно, Ю. А. Многопоточные гидравлические делители / Ю. А. Сахно. – М.: Машиностроение, 1988. – 160 с.
12. Гидравлическое оборудование: Каталог-справочник Ч. 1/ под ред. И. М. Степунина, В. Я. Скрицкого. – М.: НИИмаш, 1967. – 400 с.
13. Эрнст, В. Гидропривод и его промышленное применение / В. Эрнст. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 215 с.
14. Полохин, О. В. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа / О. В. Полохин, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов. – М.: Машиностроение, 2007. – 240 с.
15. Феофилов, Н. Д. Зубонарезание цилиндрических узковенцовых колес одновитковой резцовой головкой / Н. Д. Феофилов // Вестник машиностроения. – 2001. – №12. – С. 51 – 53.
16. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1987. – 846 с.
17. Пат. 2414335 Российская Федерация, МПК В23F 21/16. Червячная фреза для нарезания зубчатых деталей / Демидов В. В., Ксенафонов Д. С.,

Демидова Е. В.; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2010100650/02; заявл. 11.01.2010; опубл. 20.03.2011, Бюл. № 8.

18. Кожевников, Д. В. Режущий инструмент : учебник для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов, В. И. Кокарев, А. Г. Схиртладзе; под редакцией С. В. Кирсанова. – 2-е изд. доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 528 с.

19. Демидов В. В., Гуськова Е. В. Червячная однозаходная фреза для нарезания зубчатых деталей: Положительное решение по заявке № 2010150168/02 (072430) от 03.12.2010.

20. Пат. 2396152 Российская Федерация, МПК В23F 21/16. Червячная фреза для нарезания зубчатых деталей / Демидов В. В., Ксенафонтов Д. С., Демидова Е. В.; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2009116316/02; заявл. 28.04.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22.

21. Иноземцев, Г. Г. Червячные фрезы с рациональными геометрическими и конструктивными параметрами / Г. Г. Иноземцев. – Саратов: Изд. Саратовского университета, 1961. – 224 с.

22. Демидов В. В., Демидова Е. В. Червячно-модульная фреза на основе эвольвентного червяка для нарезания цилиндрических зубчатых колес: Положительное решение по заявке № 2010122365/02 (031793) от 01.06.2010.

23. Пат. 2416498 Российская Федерация, МПК В23F 21/16. Червячная фреза для нарезания зубчатых деталей / Демидов В. В., Ксенафонтов Д. С., Демидова Е. В.; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2009137560/02; заявл. 09.10.2009; опубл. 20.04.2011. Бюл. № 11.

Учебное издание

Жиганов Виктор Иванович, **Сахно** Юрий Алексеевич,
Демидов Валерий Васильевич, **Сахно** Евгений Юрьевич

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Учебное пособие

ЛР №020640 от 22.10.97

Подписано в печать 26.12.2011. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 7,91. Тираж 100 экз. Заказ 34.

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Типография Ул ГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.