

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

# ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

## Лекция 13

Преподаватель: Помпеев Кирилл Павлович  
канд. техн. наук, доцент ФСУиР  
e-mail: [kir-pom@mail.ru](mailto:kir-pom@mail.ru), [kppompeev@itmo.ru](mailto:kppompeev@itmo.ru)

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

На зубообрабатывающих станках выполняют обработку фасонных поверхностей различного профиля, равномерно расположенных по окружности, однако преимущественно обрабатывают фасонные поверхности эвольвентного профиля, используемые для профилирования боковых поверхностей зубьев зубчатых колес.

Различают два метода получения фасонных профилей, равномерно расположенных по окружности:

- копирование:

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

Копирование – метод, основанный на профилировании, например, зубьев фасонным инструментом, профиль режущей части которого соответствует профилю впадины нарезаемого зубчатого колеса.

По методу копирования зубчатые колеса нарезают:

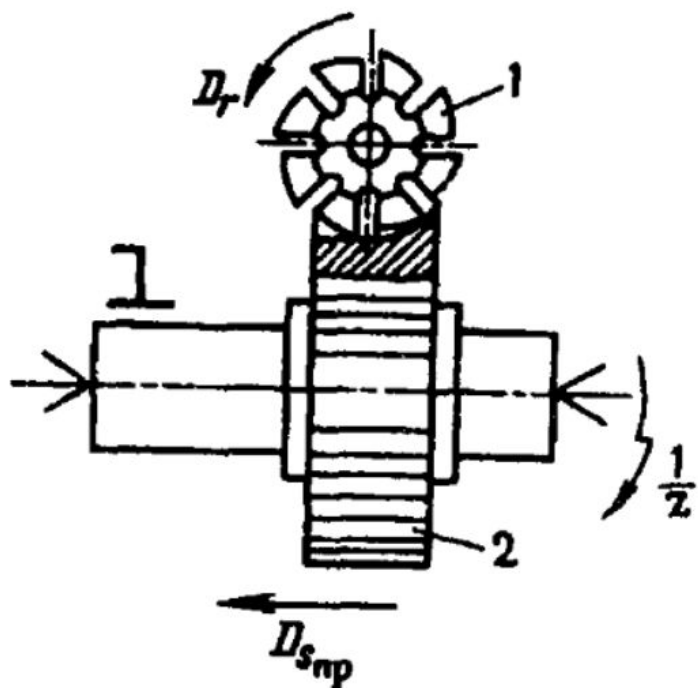
- дисковой модульной фрезой на горизонтально- или универсально-фрезерных станках;
- и концевой модульной фрезой на вертикально-фрезерных станках

последовательно по одной впадине с использованием  
подпиточной головки

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

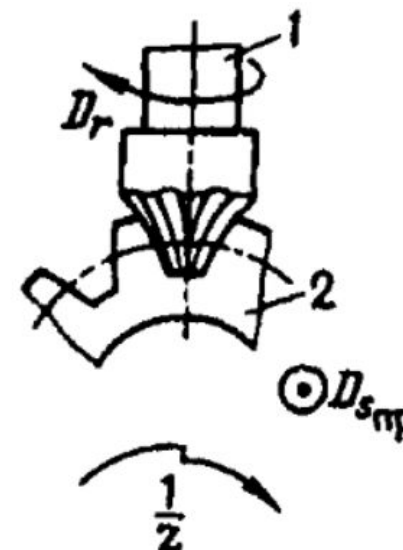
## Общие сведения

Нарезание зубчатого колеса дисковой модульной фрезой на горизонтально- или универсально-фрезерных станках



1 – фреза;  
2 – нарезаемое  
колесо

Нарезание зубчатого колеса концевой модульной фрезой на вертикально-фрезерных станках



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

В процессе фрезерования впадины между зубьями колеса фрезе сообщают главное вращательное движение резания, а заготовке – движение продольной подачи.

По окончании фрезерования одной впадины стол отводят в исходное положение и заготовку поворачивают на  $1/z$  часть оборота ( $z$  – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса).

Концевыми модульными фрезами нарезают зубчатые колеса больших модулей и шевронные колеса.

Метод копирования не обеспечивает высокой

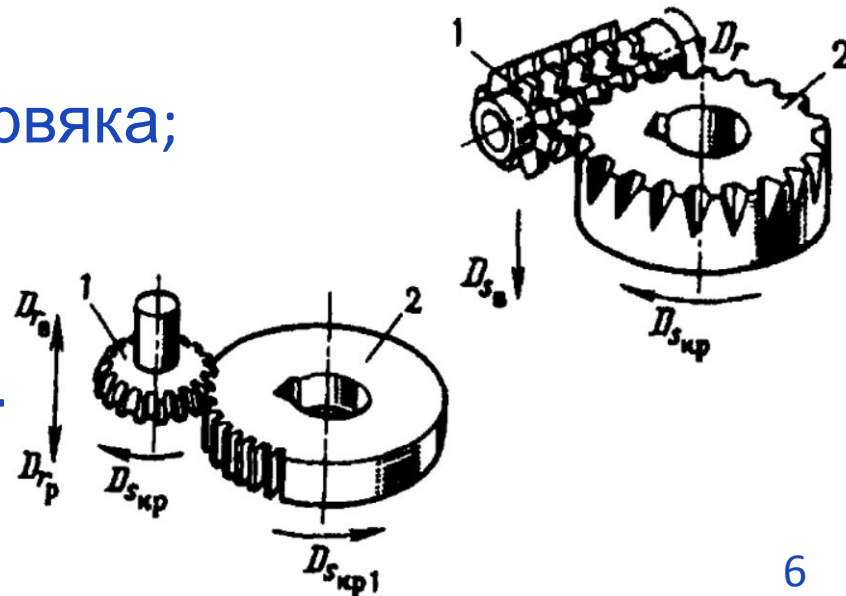
# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

Обкатка – метод, основанный на зацеплении зубчатой пары: режущего инструмента и заготовки.

Режущие кромки инструмента имеют профиль зуба:

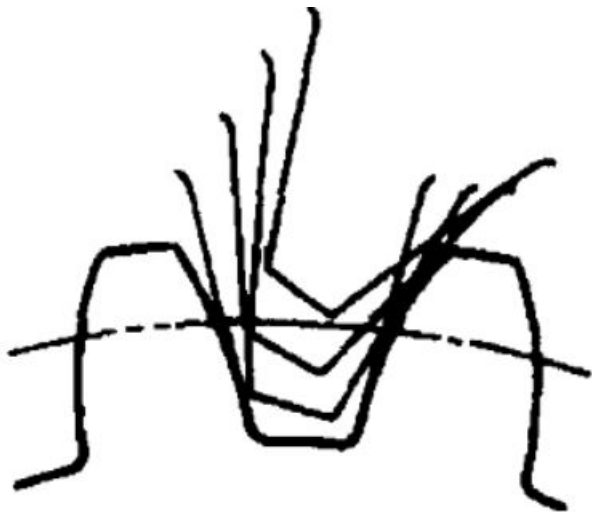
- сопряженной рейки или червяка;
- либо сопряженного колеса.



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

Боковая поверхность зуба на заготовке образуется как огибающая последовательных положений режущих кромок инструмента в их относительном движении.



Рейкой или червячной фрезой



Долбяком

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Общие сведения

Различные положения режущих кромок относительно формируемого профиля зубьев на заготовке получают в результате кинематически согласованных вращательных движений инструмента и заготовки на зуборезном станке.

Метод обкатки обеспечивает непрерывное формообразование зубьев колеса.

Нарезание зубчатых колес этим методом получило преимущественное распространение вследствие высокой производительности и значительной точности



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Типы зубообрабатывающих станков

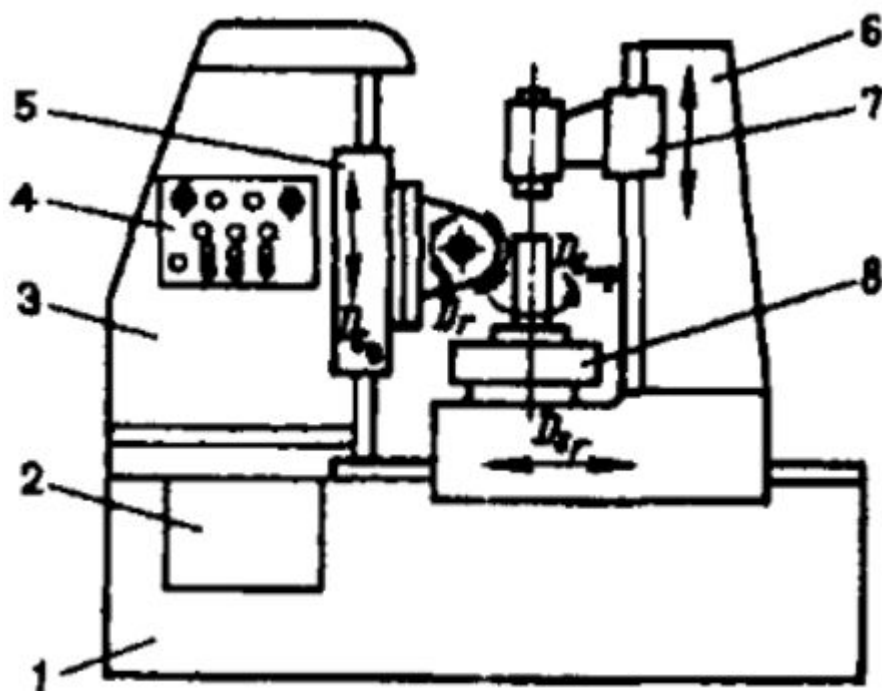
Наиболее широкое распространение в промышленности получили зубообрабатывающие станки, на которых формообразование зубьев осуществляется по методу обкатки, а именно:

- зубофрезерные;
- зубодолбежные;
- и зубострогальные станки.

На этих станках зубчатые колеса в зависимости от используемого режущего инструмента нарезают различными технологическими методами.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Конструкция зубофрезерного полуавтомата



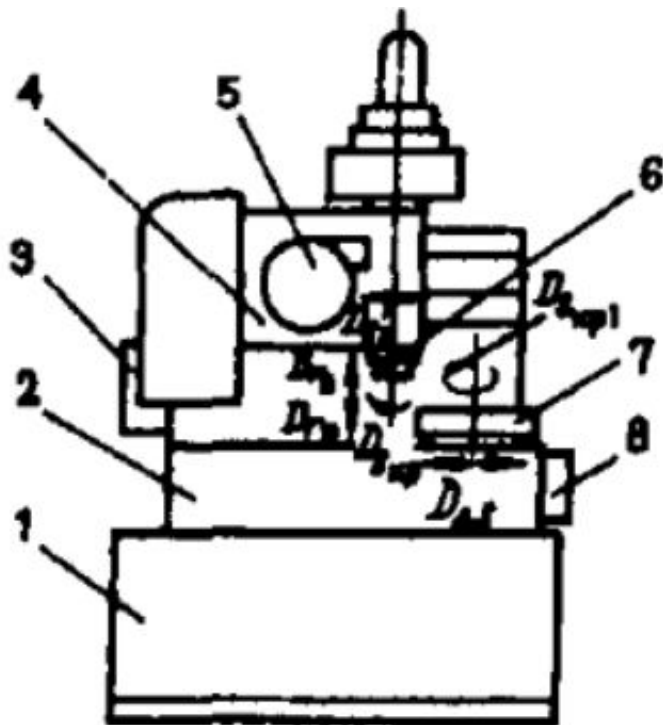
- 1 – станина;
- 2 – коробка скоростей;
- 3 – стойка;
- 4 – пульт управления;
- 5 – шпиндель фрезерного суппорта;
- 6 – задняя стойка;
- 7 – подвижный кронштейн;
- 8 – вращающийся стол

Все рабочие и вспомогательные движения (быстрый подвод заготовки к инструменту, зубонарезание, быстрый отвод колеса и инструмента в исх. положение и остановка станка)

осуществляются автоматически

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Конструкция зубодолбежного станка

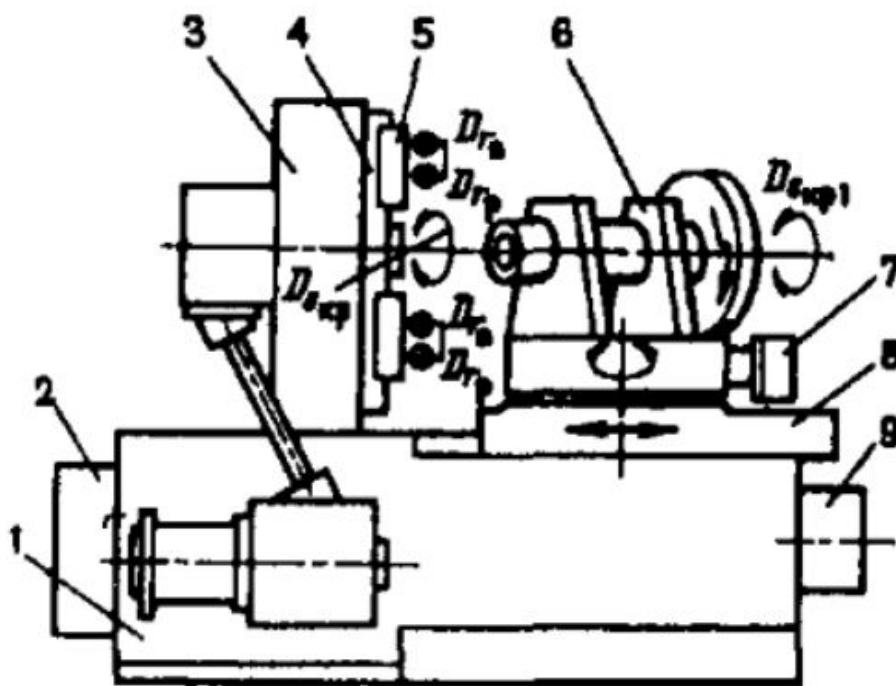


- 1 – станина (нижняя часть);
- 2 – станина (верхняя часть);
- 3 – гитара деления;
- 4 – суппорт;
- 5 – механизм подачи;
- 6 – шпиндель;
- 7 – вращающийся стол;
- 8 – гитара скоростей (для изменения частоты двойных ходов в минуту долбяка)

Гитара деления сообщает долбяку окружную скорость для автоматического деления заготовки на заданное число зубьев. Механизм подачи нужен для задания радиальной подачи долбяка.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Конструкция зубострогального станка



- 1 – станина;
- 2 – гитара скоростей;
- 3 – стойка;
- 4 – люлька;
- 5 – резцовый суппорт (2 шт.);
- 6 – делительная бабка;
- 7 – гитара деления;
- 8 – салазки;
- 9 – механизм подвода и отвода заготовки

Гитара скоростей нужна для задания частоты дв-х ходов резцов в мин.

Гитара деления нужна для поворота заготовки при отводе ее от

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

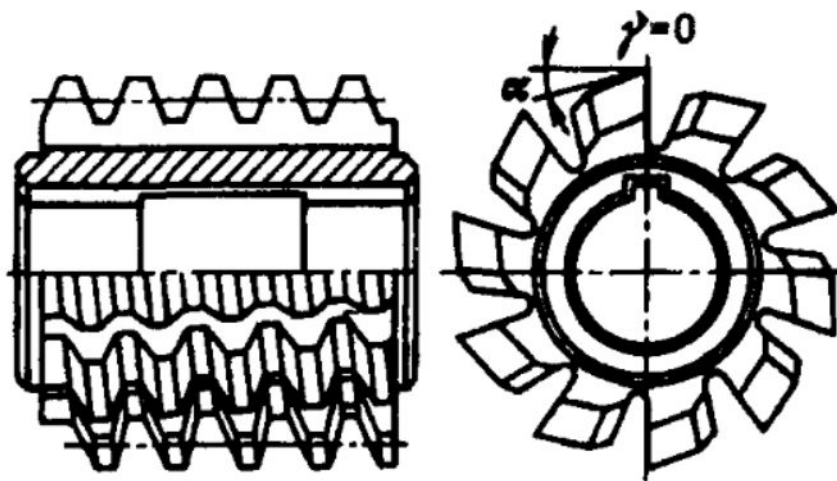
## Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки

*Червячная модульная фреза* представляет собой винт с прорезанными перпендикулярно к виткам канавками.

В результате этого на червяке образуются режущие зубья, расположенные по винтовой линии.

Профиль зуба фрезы в нормальном сечении имеет трапецеидальную форму и представляет

собой зуб рейки с передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами заточки.



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки

Червячные фрезы изготавливают однозаходными и многозаходными.

Чем больше число заходов, тем ниже точность.

Червячными модульными фрезами нарезают цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями и червячные колеса.

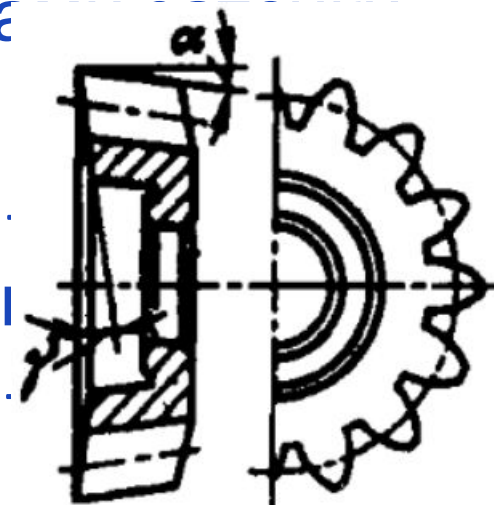
# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки

*Зуборезный долбяк* представляет собой зубчатое колесо, зубья которого имеют эвольвентный профиль с передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами.

Различают два типа долбяков:

- прямозубые для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями
- и косозубые для нарезания цилиндрических колес с косыми зубьями.



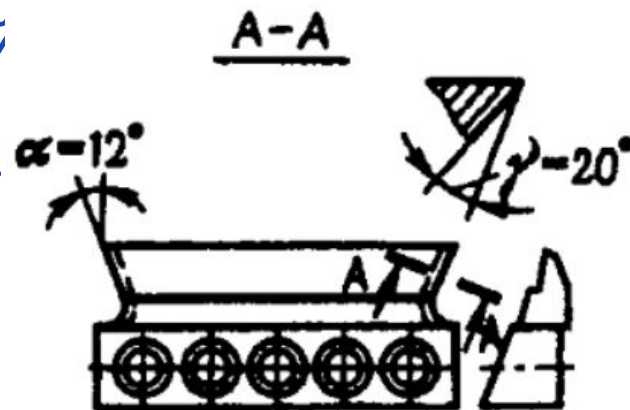
## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки

*Зубострогальный резец* имеет призматическую форму с соответствующими углами заточки и прямолинейной режущей кромкой

Передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы образуются при установке резца в резцедержателе станка.

Эти резцы применяют попарно для нарезания конических зубчатых колес с прямыми зубьями.



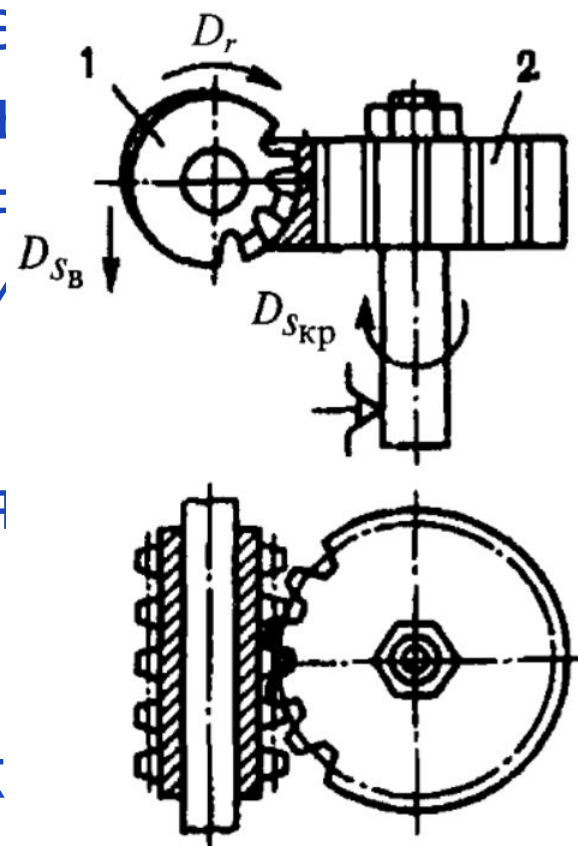


# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

При нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями на зубофрезерных станках червячная фреза вращается и перемещается вдоль оси заготовки

Скоростью главного движения резания при зубофрезеровании является скорость на вершине зуба фрезы, а движением подачи – перемещение фрезы вдоль оси вращения заготовки



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Скорость главного движения резания, м/мин,

$$V = \pi D_{\phi} n_{\phi} / 1000,$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр фрезы, мм;  $n_{\phi}$  – частота вращения фрезы, об/мин.

Подачу измеряют в миллиметрах на один оборот и выбирают из нормативов по режимам резания в зависимости от числа зубьев, требуемых шероховатости и точности обработки.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

При обработке однозаходной модульной червячной фрезой необходимо, чтобы за время одного оборота фрезы заготовка, на которой требуется получить  $z$  зубьев, повернулась на  $1/z$  часть окружности.

Согласованное и непрерывное вращение заготовки и фрезы является обкаточным движением.

Таким образом, для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями необходимы три движения: главное вращательное движение резания червячной фрезы, движение круговой подачи заготовки (делительное движение) и движение вертикальной подачи фрезы. 19

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Для согласования этих движений на станке настраивают кинематические цепи:

- скоростную;
- делительную;
- и вертикальной подачи.

Кинематическая скоростная цепь связывает вращение червячной фрезы с вращением вала электродвигателя.

Кинематическая цепь деления (обкатки) связывает вращение червячной фрезы с вращением заготовки.

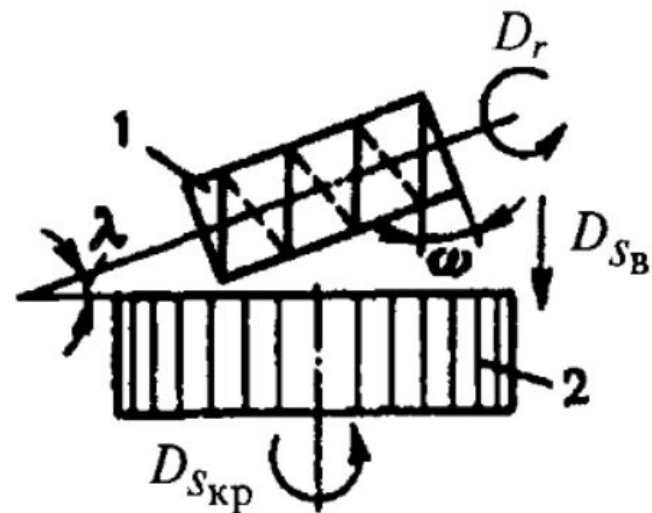
Кинематическая цепь вертикальной подачи – перемещение фрезы в вертикальной плоскости с

## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Чтобы нарезаемые зубья имели симметричный профиль, ось вращения червячной модульной фрезы устанавливают под углом  $\lambda$  к торцу заготовки колеса.

Соответственно, при нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями ось червячной фрезы устанавливают относительно плоскости, перпендикулярной к оси заготовки, под углом  $\lambda$ , равным



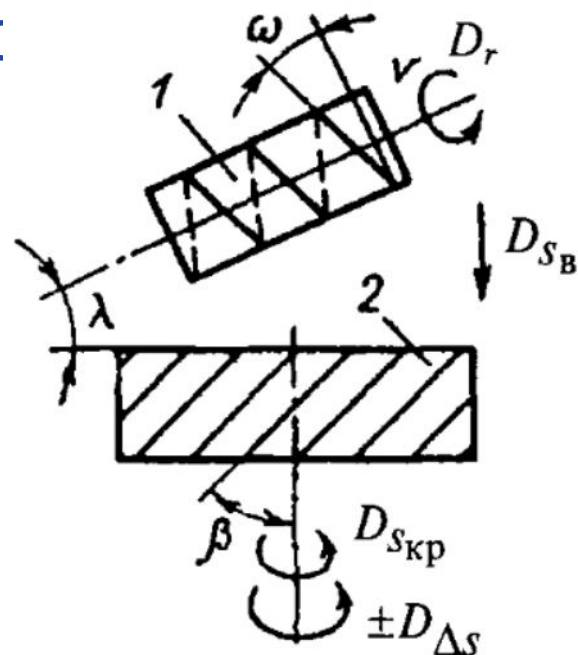
## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

При нарезании цилиндрических колес с косыми зубьями ось фрезы устанавливают под углом  $\lambda$ , при определении которого учитывают угол подъема витков червячной фрезы  $\omega$  и угол наклона нарезаемых зубьев  $\beta$ :

$$\lambda = \beta \pm \omega;$$

знак «плюс» принимают при разноименном наклоне зубьев фрезы и колеса, «минус» – при одноименном наклоне.



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Для формирования косо́го зуба необходимы три движения: главное вращательное движение резания фрезы, движение вертикальной подачи фрезы и ускоренное (или замедленное) вращательное движение круговой подачи заготовки, которое складывается из основного и дополнительного ее вращений.

Первые два движения и основное вращение заготовки осуществляются настройкой тех же кинематических цепей, что и при нарезании колес

## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

При вертикальном перемещении фрезы на величину подачи зубья фрезы образуют винтовые зубья колеса.

Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы за один оборот однозаходной червячной фрезы заготовка не только повернулась на  $1/z$  часть окружности, но и совершила еще дополнительную часть оборота, что достигается настройкой дифференциальной кинематической цепи.



## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Суммирование основного и дополнительного вращательных движений заготовки осуществляется дифференциалом.

Основное вращение заготовки зависит от отношения числа заходов червячной фрезы к числу зубьев нарезаемого колеса, а дополнительное вращение – от угла наклона нарезаемых зубьев.

## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Направление дополнительного вращения заготовки совпадает с направлением ее основного движения (ускоренное вращение заготовки), если направление винтовых линий зубьев нарезаемого колеса и фрезы одинаковы.

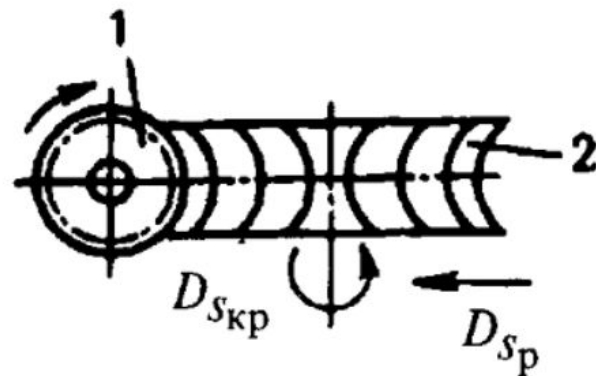
Если же направления винтовых линий различны, то дополнительное вращение будет направлено в сторону, обратную основному движению (замедленное вращение заготовки).

## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

При нарезании червячных колес ось фрезы устанавли-вают горизонтально ( $\lambda=0$ ) на высоте середины заготовки.

Для нарезания червячных колес необходимы три движения: главное вращательное движение резания червячной фрезы, движение круговой подачи заготовки и движение радиальной подачи заготовки.



## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубофрезерование)

Первые два движения осуществляют настройкой тех же кинематических цепей, что и при нарезании колес с прямыми и косыми зубьями.

Для нарезания зуба на полную высоту по всей ширине колеса заготовке сообщают движение радиальной подачи, настраивая кинематическую цепь горизонтальной подачи.

Цепь горизонтальной подачи связывает перемещение заготовки в горизонтальной плоскости с ее вращением.

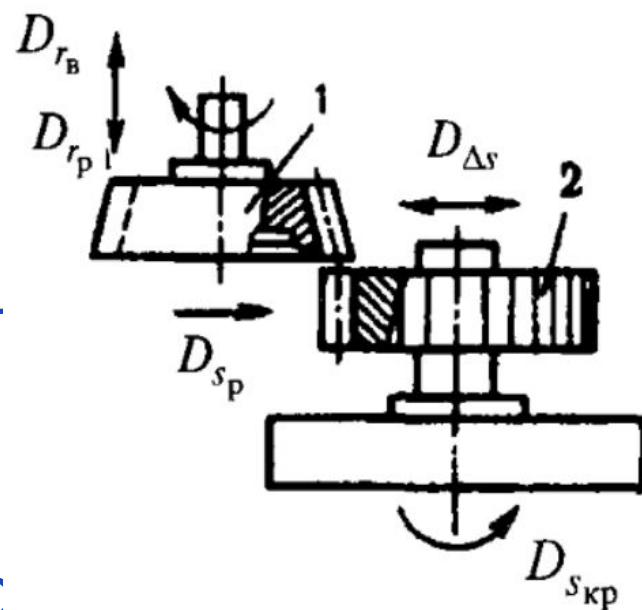
## Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

### Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

При нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями на зубодолбежных станках используют прямозубые долбяки.

Главное движение резания – возвратно поступательное движение долбяка: движение долбяка вниз – рабочий ход  $D_{rp}$ , движение его вверх – вспомогательный ход  $D_{rv}$ .

Оба движения – рабочее и вспомогательное – составляют двойной ход долбяка.



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Скорость главного движения резания при  
зубодолблении, м/мин,

$$V = 2 L n / 1000,$$

где  $L$  – длина хода долбяка, мм;  $n$  – частота двойных ходов долбяка в минуту.

Долбяк и заготовка, находясь в зацеплении, вращаются со скоростью, обратно пропорциональной числу их зубьев:

$$n_{\text{заг}} / n_{\text{д}} = z_{\text{д}} / z_{\text{заг}},$$

где  $n_{\text{заг}}$  – частота вращения заготовки, об/мин;  $n_{\text{д}}$  – частота вращения долбяка, об/мин;  $z_{\text{д}}$  – число зубьев <sup>30</sup>

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Вращение долбяка (движение круговой подачи долбяка) и вращение заготовки (движение круговой подачи заготовки) являются движениями обкатки.

Движение круговой подачи выражается длиной дуги делительной окружности долбяка, на которую он поворачивается за один двойной ход (мм/дв. ход).

Поперечным перемещением суппорта долбяку сообщают движение радиальной подачи – движение врезания долбяка в заготовку.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Движение радиальной подачи сообщается до достижения полной глубины впадины между зубьями.

В дальнейшем процесс нарезания происходит при постоянном межцентровом расстоянии в течение одного оборота заготовки.

Для устранения трения зубьев долбяка о заготовку перед каждым вспомогательным ходом заготовка вместе со столом отводится от долбяка, а в начале рабочего хода подводится к долбяку.

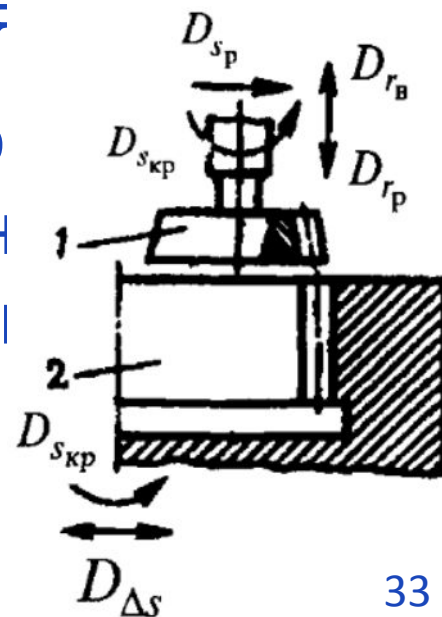


# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

При нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями внутреннего зацепления долбяку и заготовке сообщают те же движения, что и при нарезании колес внешнего зацепления

Различие заключается лишь в том, что при нарезании зубчатых колес внутреннего зацепления направления вращения долбяка и заготовки одинаковы, тогда как при нарезании колес внешнего зацепления они противоположны.

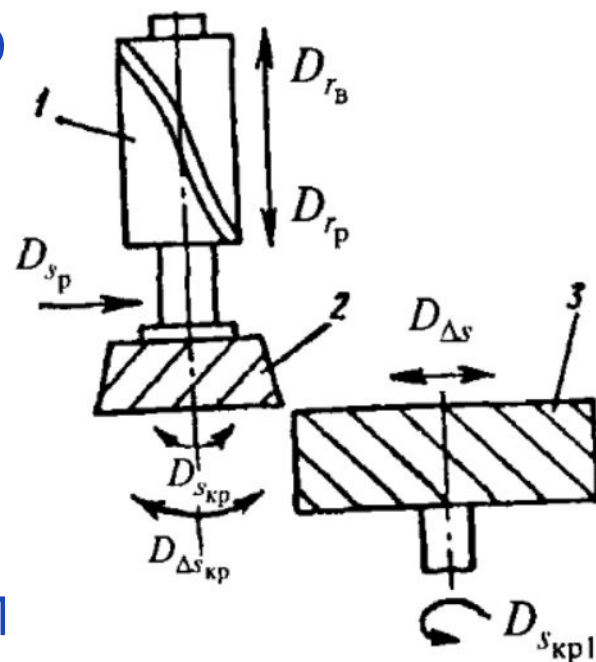


# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

При нарезании цилиндрических колес с косыми зубьями используют косозубые до  
Для нарезания колес с косыми  
зубьями требуется комплект  
косозубых долбяков с таким же  
углом наклона, как у нарезаемых  
колес.

Этот комплект состоит из двух дол  
бяков: левого – для нарезания правого колеса и  
правого – для нарезания левого колеса.



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Долбяку и заготовке сообщают те же движения, что и при нарезании колес с прямыми зубьями.

Дополнительно долбяку сообщают вращательное движение (дополнительное движение круговой подачи), обусловленное углом наклона зубьев и согласованное с его возвратно-поступательным движением.

Дополнительное вращение долбяка обеспечивается установкой на шпинделе станка винтовых направляющих (копиров).

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Угол наклона винтовой линии копира должен соответствовать углу наклона зубьев нарезаемого колеса.

Цилиндрические колеса с косыми зубьями внутреннего зацепления нарезают долбьяками с одноименным направлением зубьев.

Шевронные зубчатые колеса нарезают на горизонтальных зубодолбежных станках.

Шевронные колеса являются косозубыми колесами, у которых одна половина шеврона имеет правое направление зубьев, другая – левое (косые зубья расположены V образно на одном валу)

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Преимущество шевронных колес перед косозубыми состоит в том, что они не создают осевых нагрузок на подшипники и могут передавать большие мощности.

Особенностью нарезания таких колес является использование работающих в паре двух косозубых долбяков с разным направлением зубьев – правый долбяк для левого колеса и левый долбяк – для правого колеса.

Заготовка совершает вращательное движение.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Долбяки одновременно совершают возвратно-поступательное движение параллельно оси заготовки и вращательное движение.

Каждому долбяку с помощью винтового копира, установленного на шпинделе станка, сообщают дополнительный поворот.

При возвратно-поступательном движении в одну сторону один долбяк осуществляет резание, а другой – вспомогательный (холостой) ход, при обратном движении наоборот.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

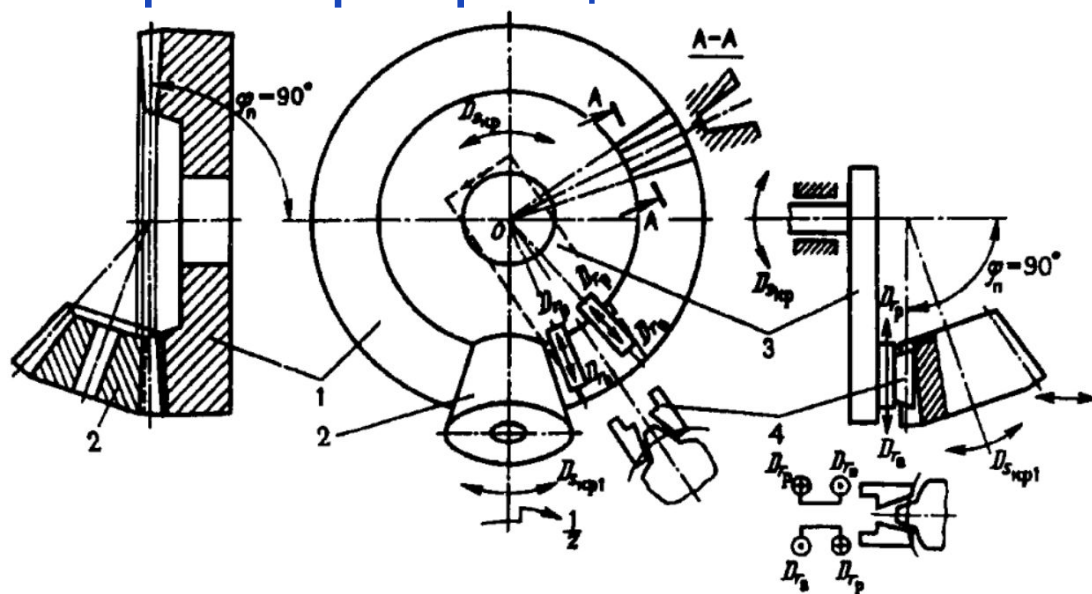
## Схемы нарезания зубьев (зубодолбление)

Преимущество метода зубодолбления помимо возможности нарезания колес внутреннего зацепления и блочных колес – более высокая точность и меньшая шероховатость боковых поверхностей зубьев по сравнению с поверхностями, получаемыми при зубофрезеровании.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

На зубострогальных станках нарезают конические зубчатые колеса методом обкатки, в основу которого положено зацепление двух конических колес, одно из которых превращают в плоское.



- 1 – производящее колесо;
- 2 – нарезаемое колесо;
- 3 – люлька;
- 4 – зубострогальный резец



# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

Нарезаемое коническое колесо (заготовка) находится в зацеплении с производящим плоским коническим колесом, у которого угол при вершине конуса  $\phi_{\text{п}} = 90^\circ$ , а зубья ограничены плоскостями, сходящимися в общей вершине, и имеют форму зуба рейки.

То есть плоское коническое колесо представляет собой кольцевую рейку.

Роль производящего колеса выполняют два зубостро-гальных резца, образуя впадину между

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

В процессе зубострогания конических колес с прямыми зубьями главным движением резания является возврат-но-поступательное движение резцов: в направлении к вершине конуса заготовки – рабочий ход  $D_{Гр}$ , а в обратном направлении – вспомогательный ход  $D_{Гв}$ .

Оба движения – рабочее и вспомогательное – составляют двойной ход резца.

Вращение заготовки (движение круговой подачи заготовки) и люльки с резцами (движение круговой

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

Движение обкатки должно соответствовать передаточному отношению  $i = z_{\text{п}} / z$ , где  $z_{\text{п}}$  – условное число зубьев производящего колеса;  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

В результате главного и обкаточного движений на заготовке образуются две неполные впадины и один полностью обработанный зуб.

После нарезания одного зуба заготовка автоматически отводится от резцов, направление вращения люльки с резцами и заготовки изменяется.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

Затем они возвращаются в исходное положение (вспомогательный ход).

Во время отвода заготовки от резцов шпиндель бабки вместе с заготовкой поворачивается на угловой шаг ( $1/z$  оборота), обеспечивая деление.

Затем заготовке сообщают движение подачи на глубину впадины, и начинается нарезание следующего зуба.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

Конические колеса с круговыми зубьями имеют значительные эксплуатационные преимущества:

- плавность;
- бесшумность работы;
- большую прочность зубьев;
- высокий КПД и др.

Конические колеса с круговыми зубьями нарезают по методу обкатки на зуборезных станках специальной конструкции.

# Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках

## Схемы нарезания зубьев (зубострогание)

Схема нарезания конических колес с круговыми зубьями аналогична нарезанию колес с прямыми зубьями.

Отличие состоит в том, что роль зубьев производящего колеса выполняют резцы резцовой головки, которые вместо поступательного движения получают вращательное движение.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Виды отделочной обработки зубьев зубчатых колес

В процессе нарезания зубчатых колес на поверхности зубьев возникают погрешности профиля, появляется неточность шага зубьев и др.

Для уменьшения или ликвидации погрешностей зубья дополнительно обрабатывают:

- шевингованием;
- хонингованием;
- зубошлифованием;
- зубопритиркой.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

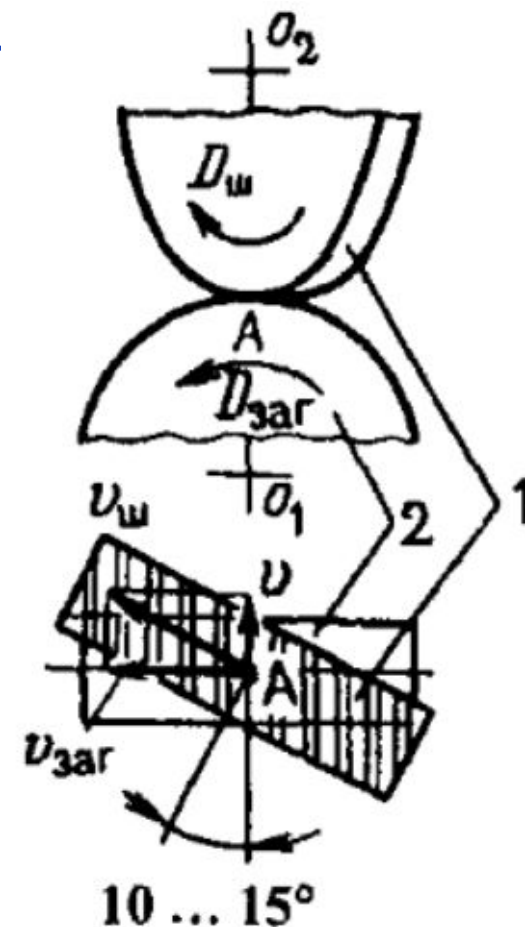
## Шевингование

*Шевингованием* выполняют отделочную обработку зубьев незакаленных колес.

Предварительно нарезанное прямозубое или косозубое колесо 2 плотно зацепляется с инструментом

Скрещивание их осей обязательно.

При таком характере зацепления в точке  $A$  можно разложить скорость  $V_{ш}$  на составляющие.



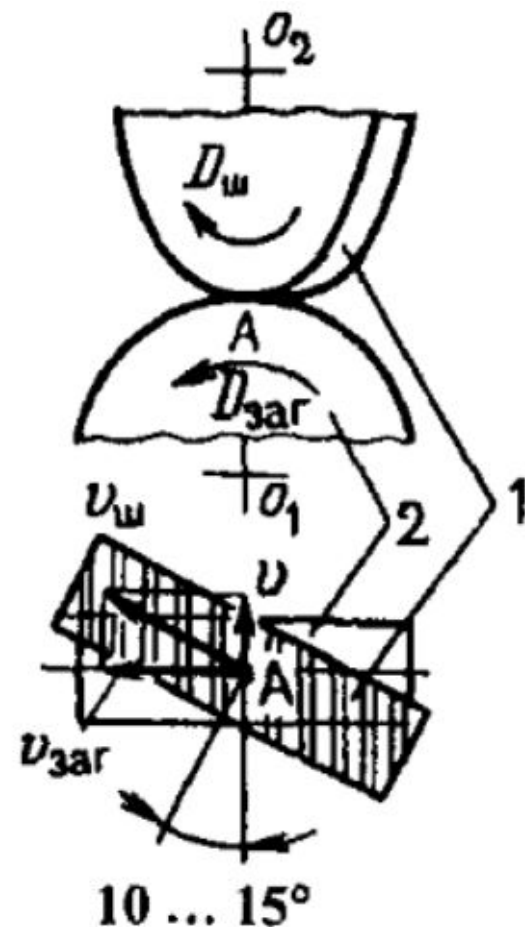


# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Шевингование

Составляющая  $V$  направлена вдоль зубьев и является скоростью резания возникающей в результате скольжения профилей.

Обработка состоит в срезании (соскалывании) с поверхности зубьев очень тонких волосообразных стружек, благодаря чему погрешности исправляются, зубчатые колеса становятся более точными, значительно сокращается шум при их работе.



# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

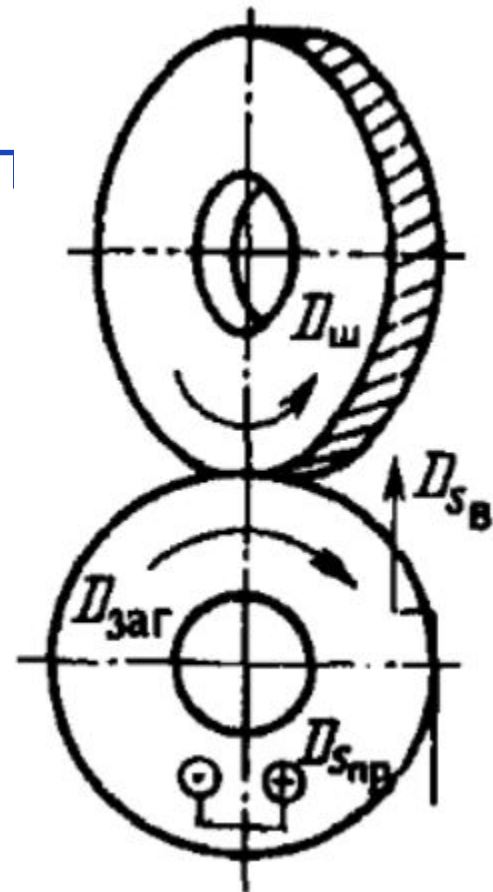
## Шевингование

Отделку проводят специальным металлическим инструментом – шевером.

Угол скрещивания осей чаще всего составляет  $10...15^\circ$ .

При шевинговании инструмент и заготовка воспроизводят зацепление винтовой пары.

Кроме этого, зубчатое колесо перемещается возвратно-поступательно ( $D_{спр}$ ) и после каждого двойного хода подается в радиальном направлении ( $D_{св}$ ).

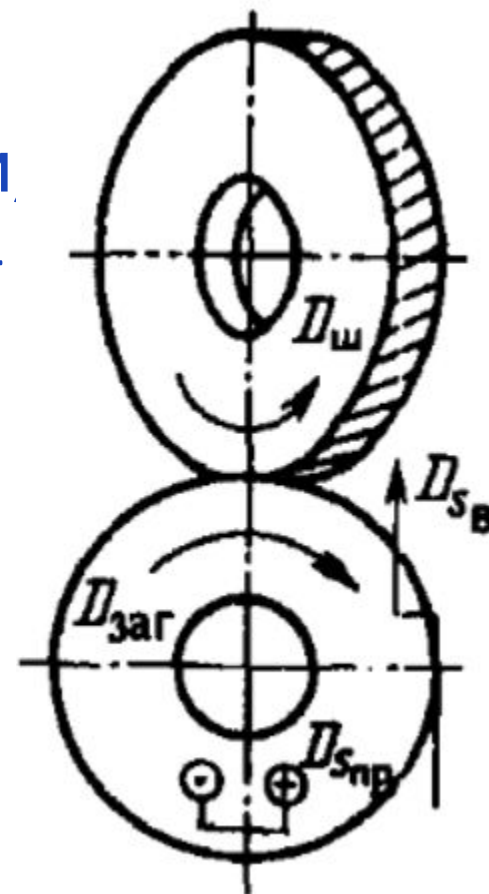
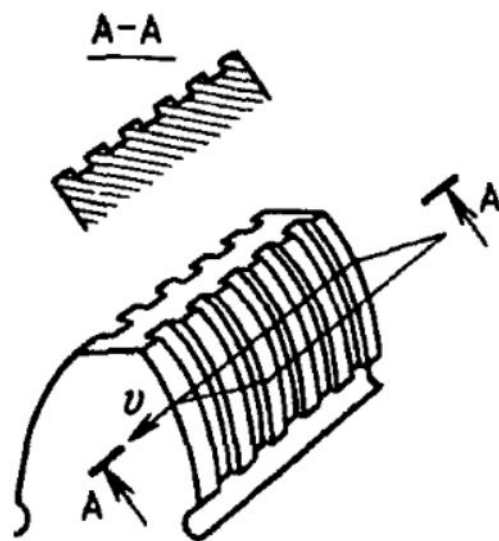


# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Шевингование

Направления вращения шевера ( $D_{\text{ш}}$ ) и следовательно, заготовки ( $D_{\text{заг}}$ ) периодически изменяются.

Шевер режет боковыми сторонами зубьев, которые имеют специальные канавки и, следовательно, представляет собой режущее зубчатое колесо.



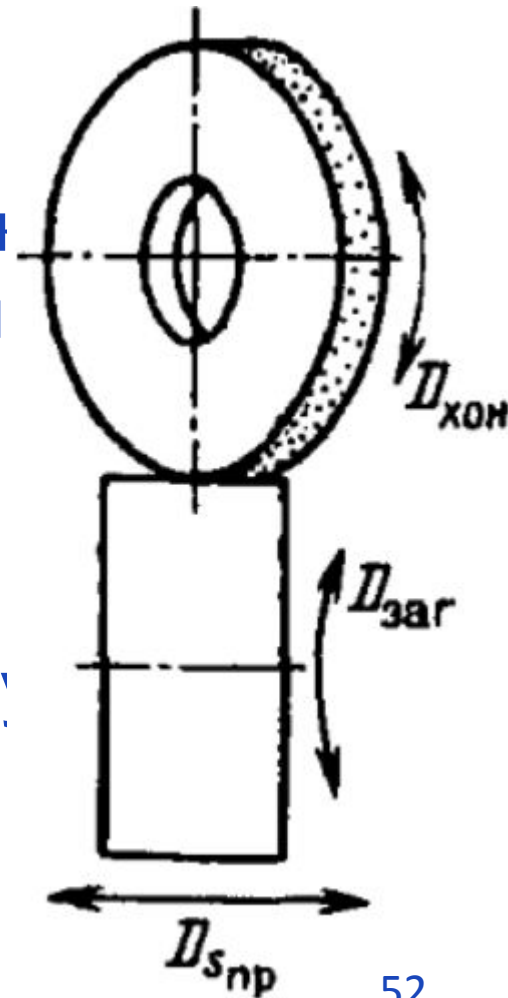
# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Хонингование

*Хонингованием* удаляют погрешности боковых поверхностей зубьев на закаленных зубчатых колесах (если припуск на обработку не превышает  $0,01 \dots 0,03$  мм на толщину зуба).

Процесс хонингования заключается в совместной обкатке заготовки и абразивного инструмента, имеющего форму зубчатого колеса.

Оси заготовки и инструмента скрещиваются под углом  $15 \dots 18^\circ$ .



# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

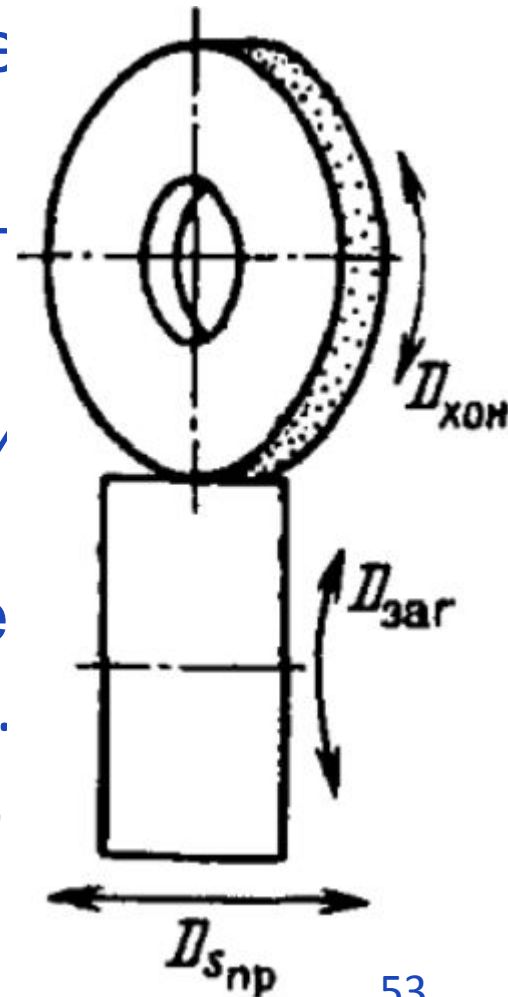
## Хонингование

При вращении зубчатой пары возникает составляющая скорости скольжения.

Абразивные зерна хона обрабатывают боковые стороны зубьев заготовки.

Скорости движений  $D_{\text{хон}}$  и  $D_{\text{заг}}$  вращении пары, находящейся в зацеплении при хонинговании, во много раз больше, чем скорости вращения при шевинговании.

Хонингуемые прямозубые или косозуб цилиндрические колеса вращаются в плотном зацеплении с хоном.



# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

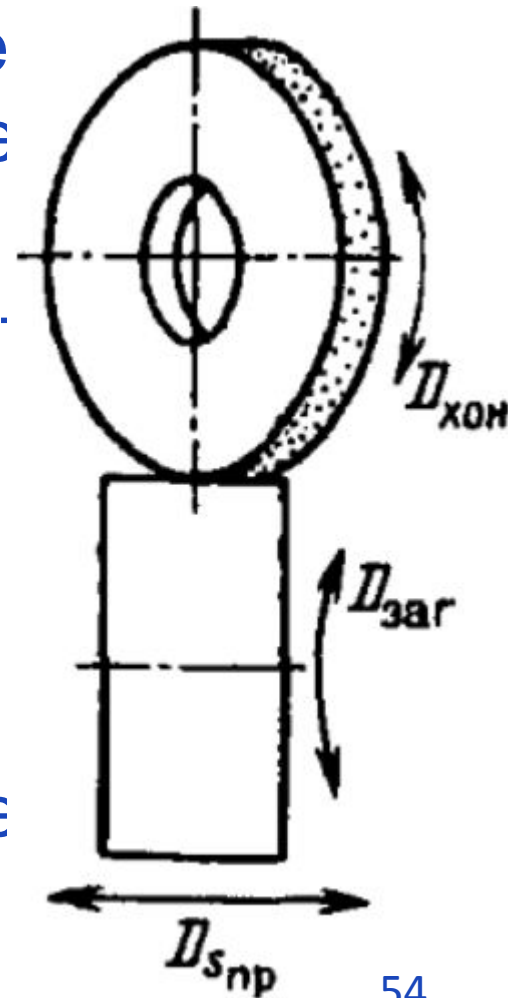
## Хонингование

Зубчатое колесо кроме вращения совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси ( $D_{спр}$ ).

Направление вращения пары изменяется при каждом двойном ходе.

При изготовлении хонов в качестве абразива используют карбид кремния или электрокорунд.

Число зубьев как хона, так и шевера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

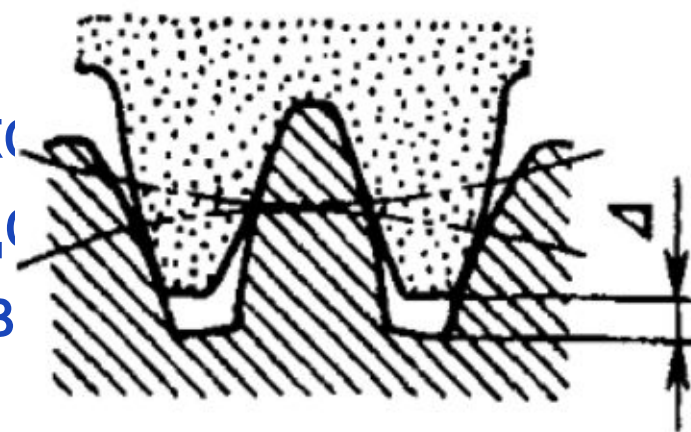


# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Хонингование

Вершина зуба колеса постоянно контактирует со впадиной между зубьями хона.

Благодаря этому уменьшается скорость изнашивания хона, а вследствие постоянного внедрения головки зуба колеса во впадину хона происходит автоматическое восстановление его зубьев.



Необходима лишь периодическая правка хона по его наружной поверхности, чтобы поддерживать требуемый зазор  $\Delta$ .

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубошлифование

*Зубошлифованием* исправляют значительные погрешности зубчатых колес, возникшие после термической обработки.

Этот метод отделки обеспечивает получение высокой точности с малой шероховатостью поверхности зубьев и может быть использован при обработке цилиндрических и конических колес.

Шлифование зубьев цилиндрических колес возможно копированием и обкаткой.

Метод копирования по своей сущности соответствует зубонарезанию дисковой модульной



# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубошлифование

Эвольвентный профиль зуба воспроизводится абразивными кругами, имеющими профиль впадин обрабатываемого колеса.

Шлифование зубьев методом обкатки основано на принципе зацепления обрабатываемого колеса с зубчатой рейкой.

При этом элементы воображаемой зубчатой рейки образованы абразивными инструментами.

Так, рейку могут представить два шлифовальных круга, торцы которых расположены вдоль сторон зубьев рейки.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубошлифование

Элемент рейки может быть образован и одним кругом, заправленным по форме ее зуба.

Для выполнения процесса шлифования методом обкатки осуществляют не только все движения указанной пары, находящейся в зацеплении, но и движения, необходимые для процесса резания.

После обработки двух боковых поверхностей зубьев колесо поворачивается на величину углового шага ( $1/z$ ).

Движения резания и деления обеспечивает специальное устройство зубошлифовальных

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубопритирка

*Зубопритиркой* могут быть улучшены результаты, получаемые при обработке зубчатых колес зубошлифованием.

С ее помощью можно получать поверхности высокого качества, увеличивать плавность хода и долговечность работы зубчатой пары.

Такой метод отделки применяют для закаленных зубчатых колес.

Притиры выполняют в виде зубчатых колес.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубопритирка

В зацеплении в результате давления между зубьями притира и обрабатываемого колеса мелкозернистый абразив в смеси с маслом внедряется в более мягкую поверхность притира.

Благодаря скольжению, возникающему между зубьями при вращении пары, зерна абразива снимают мельчайшие стружки с обрабатываемого колеса.

При зубопритирке происходит искусственное изнашивание материала колеса в соответствии с профилем зуба притира.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубопритирка

В ходе обработки притир и колесо, находящиеся в зацеплении, совершают возвратно-поступательное движение.

Кроме того, притир совершает возвратно-поступательное перемещение вдоль своей оси, что обеспечивает равномерность обработки по всей ширине зуба.

Наибольшее распространение получили схемы обработки тремя притирами.

Такой метод увеличивает производительность обработки.

# Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

## Зубопритирка

Зубопритирка может обеспечить более высокое качество обработки, чем зубошлифование, лишь в случае точного изготовления зубчатого колеса.

Максимальный припуск, удаляемый притиркой, не должен превышать 0,05 мм.

## Термическая обработка заготовок

Это процесс тепловой обработки металлов и сплавов с целью изменения их структуры, а следовательно, и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью.

Термическая обработка применяется как промежуточная операция для улучшения технологических свойств металла (обрабатываемости давлением, резанием и др.) и как окончательная – для придания ему комплекса механических, физических и химических свойств, обеспечивающих необходимые характеристики

# Термическая обработка заготовок

Основными видами термической обработки являются:

- отжиг;
- нормализация;
- закалка;
- отпуск;
- старение;
- термомеханическая обработка;
- обработка холодом;
- электротермическая обработка;
- химико-термическая обработка.



## Термическая обработка заготовок

*Отжиг* производят для улучшения обрабатываемости металла или сплава, повышения пластичности материала, уменьшения остаточных напряжений, возникающих в результате предыдущих обработок, получения структур материала, близких к равновесному состоянию.

*Нормализацию* производят для повышения механических свойств стали, а также для улучшения ее обрабатываемости резанием (нормализация часто предшествует закалке).

*Закалку* производят для повышения твердости и износостойчивости поверхностного слоя стальной

## Термическая обработка заготовок

*Отпуск* термообработанной стали производят для того, чтобы уменьшить хрупкость и повысить пластичность закаленной стали с целью облегчения окончательной механической обработки детали.

*Старение* производят для снятия остаточных напряжений, повышения прочности и жаропрочности различных сплавов (при этом уменьшаются пластичность и ударная вязкость материала).

*Термомеханическая обработка* – один из перспективных путей повышения прочности конструкционных сплавов (до 3 ГПа и более).

## Термическая обработка заготовок

*Обработку холодом* применяют для деталей, изготовленных из стали с высоким содержанием углерода, с целью получения максимальной твердости и стабилизации размеров закаленных сталей.

*Электротермическая обработка* (индукционный, контактный и др. нагрев электрическим током) позволяет нагревать только поверхность изделий или отдельные их участки, отличается высокой скоростью нагрева, высокой производительностью и легкостью регулирования, улучшенными условиями труда.

## Химико-термическая обработка заготовок

Это тепловая обработка металлов в химически активной среде для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металлического изделия.

На производстве широко применяется химико-термическая обработка стали: насыщение поверхностных слоев углеродом (*цементация*), азотом (*азотирование*), углеродом и азотом (*цианирование*), алюминием (*алитирование*), хромом (*хромирование*), кремнием (*силицирование*) и т.п.

*Цементация* производится с целью повышения

## Химико-термическая обработка заготовок

Также ее используют для науглероживания поверхностного слоя деталей из малоуглеродистых сталей с целью их последующей закалки.

*Азотирование* применяется для повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости (на воздухе и в воде), сопротивления усталости, для деталей, работающих при температурах 500...600 °С (гильзы цилиндров, коленчатые валы, детали топливной аппаратуры двигателей и др.).

*Цианирование* производится для повышения поверхностной твердости, износостойчивости и устойчивости к коррозии.

## Химико-термическая обработка заготовок

*Алтитрование* применяется для защиты изделий от окисления при высоких температурах (до 1100 °С), для уменьшения схватываемости поверхностей (например, резьбовых соединений при эксплуатации в вакууме), повышения износостойкости, защиты от коррозии в средах, содержащих серу, азот и углерод.

*Диффузионное хромирование* производится для повышения жаростойкости, жаропрочности, сопротивления усталости, износостойкости, коррозионной стойкости в кислотах и морской воде, для придания нужных магнитных и электрических характеристик.

## Химико-термическая обработка заготовок

При *электролитическом хромировании* на поверхность металлического изделия наносится хромовое покрытие для предотвращения коррозии, повышения сопротивления механическому износу и придания декоративного вида.

Поверхностное или объемное *силицирование* производится для повышения антикоррозионных свойств материалов, их износостойкости и жаропрочности.

*Металлические и неметаллические покрытия* наносят на поверхности деталей с целью повышения их коррозионной стойкости, твердости их поверхностного слоя, износостойкости их трущихся поверхностей, исправления дефектов (пороков)