

ТЕМА:

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ



ПЛАН ЛЕКЦИИ

- ❑ Общие сведения о зубчатых передачах: классификация зубчатых передач, основы теории зубчатого зацепления.
- ❑ Изготовление зубчатых колес, материалы и конструкции зубчатых колес.
- ❑ Виды повреждения зубьев и критерии работоспособности зубчатых передач.
- ❑ Прямозубые цилиндрические передачи: основные геометрические соотношения, силы, действующие в зацеплении, расчет зубьев на контактную выносливость.
- ❑ Косозубые и шевронные цилиндрические передачи: основные геометрические соотношения, силы, действующие в зацеплении.
- ❑ Прямозубые конические передачи: основные геометрические соотношения, силы, действующие в зацеплении.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В зубчатой передаче движение передается с помощью зацепления пары зубчатых колес.

Меньшее зубчатое колесо называют шестерней, а большее – колесом.

Термин зубчатое колесо относится как к шестерне, так и к колесу.

Параметрам **шестерни** приписывают индекс **1**, а параметрам **колеса** – **2**.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Зубчатые передачи - самый распространенный вид механических передач. Их применяют практически во всех машинах и приборах для передачи мощностей от ничтожно малых (например, в часовых механизмах) до десятков тысяч киловатт (например, в морских судах).

Основные кинематические характеристики передачи:

Угловая скорость $\omega = \pi n / 30$

Линейная (окружная скорость) $v = \omega r = \pi d n / 60$

Передаточное отношение $i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = z_2 / z_1$

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Достоинства:

- компактность, высокая надежность и усталостная долговечность;
- высокий к.п.д. (0,97-0,99);
- постоянство передаточного числа;
- практически неограниченный диапазон передаваемых мощностей;
- простота обслуживания и ухода;
- возможность изготовления из любых материалов, как металлических, так и неметаллических;
- небольшие нагрузки на валы.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

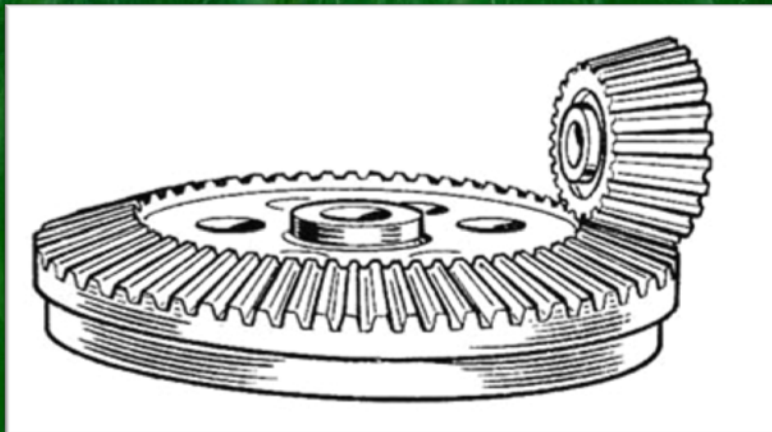
Недостатки:

- шум и вибрации при работе с большими скоростями;
- относительная сложность изготовления и монтажа (в первую очередь при высоких окружных скоростях);
- ограниченность передаточного отношения ($i \leq 7$);
- невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа;
- при перегрузках возможна поломка зубьев (пробуксовки исключены)

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

1. В зависимости от взаимного расположения осей валов:

- *цилиндрические* – применяются при параллельных осях;
- *конические* – применяются при пересекающихся осях;
- *зубчато-винтовые* – применяются при скрещивающихся осях.



КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

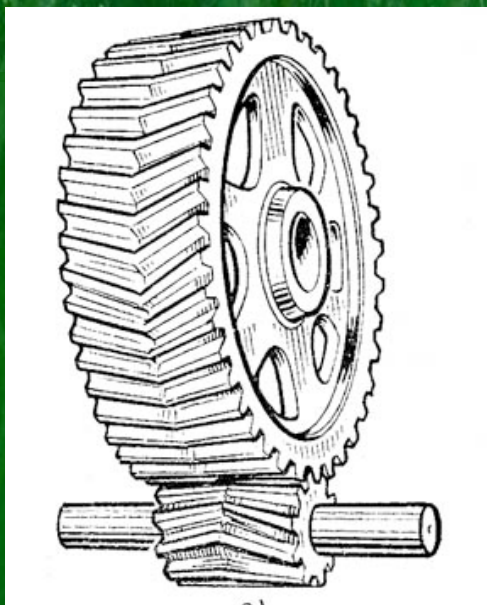
2. В зависимости от формы и расположения зубьев:

прямозубые

косозубые

шевронные

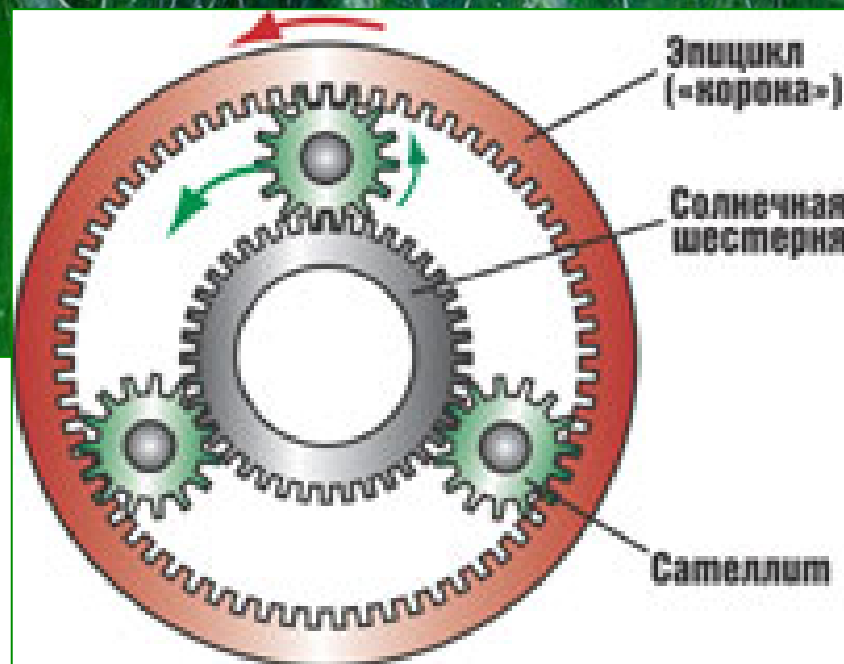
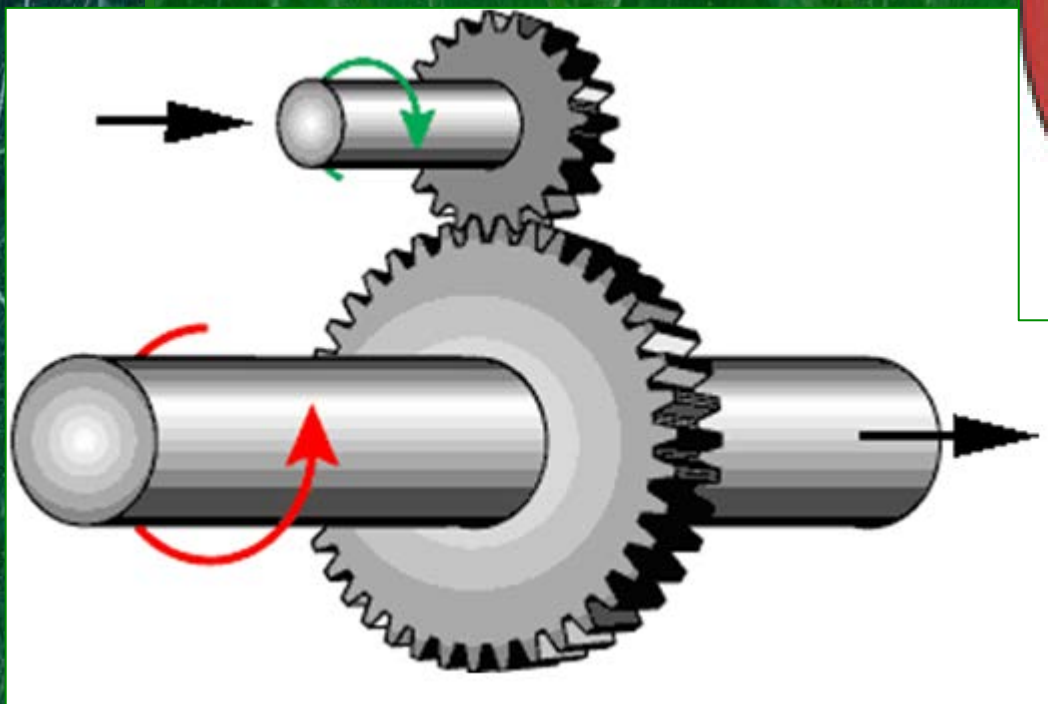
с круговым зубом.



КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

3. В зависимости от взаимного расположения зубчатых колес:

с внешним зацеплением;
с внутренним зацеплением.



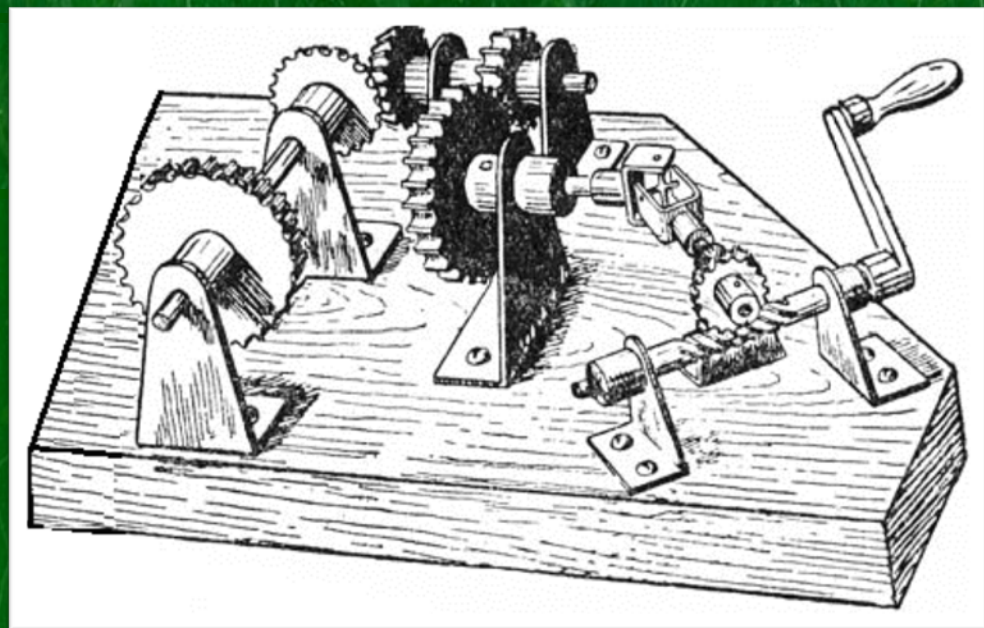
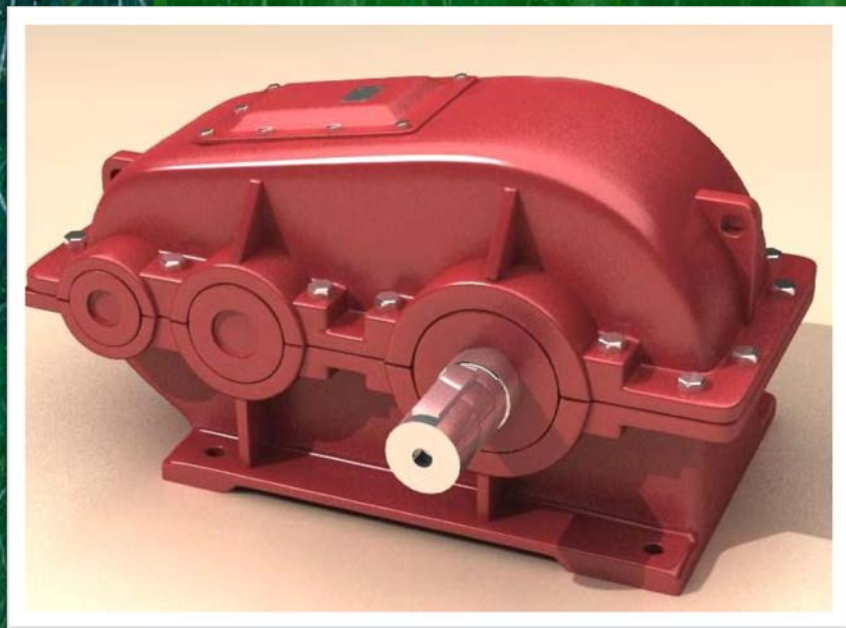
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

4. В зависимости от конструктивного оформления:

Закрытые (редукторы), работающие с масляной ванной;

Открытые (тихоходные передачи, работающие всухую или смазываемые периодически консистентной смазкой);

Полуоткрытые (имеющие защитный кожух)



КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

5. В зависимости от окружной скорости передачи:

Тихоходные $v_{max} = 3... 4 \text{ м/с}$

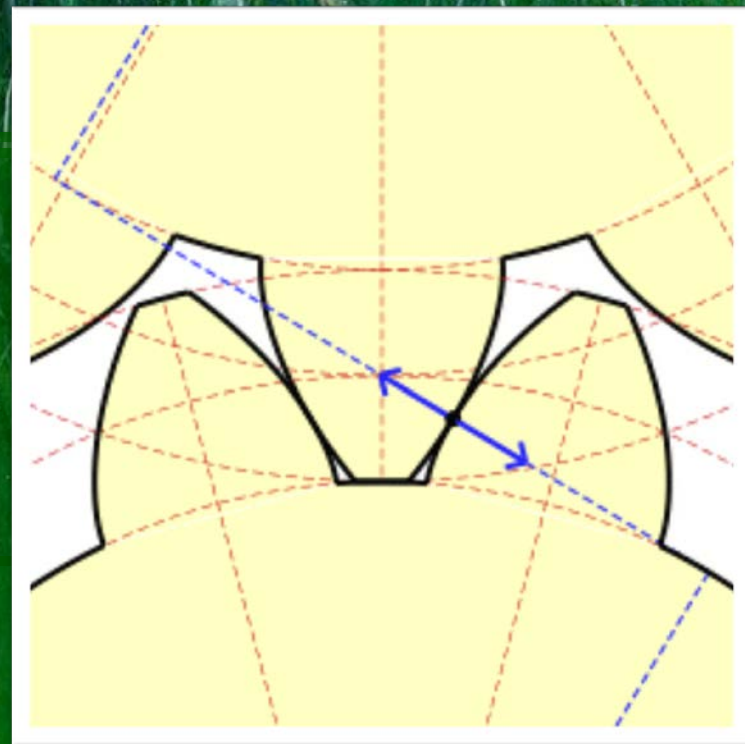
Среднескоростные $4 \text{ м/с} \leq v \leq 15 \text{ м/с}$

Высокоскоростные $v \geq 15 \text{ м/с}$

ЭВОЛЬВЕНТНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ

При работе зубчатой передачи зубья шестерни входят во впадины зубьев колеса и давят боковой (рабочей) поверхностью на них.

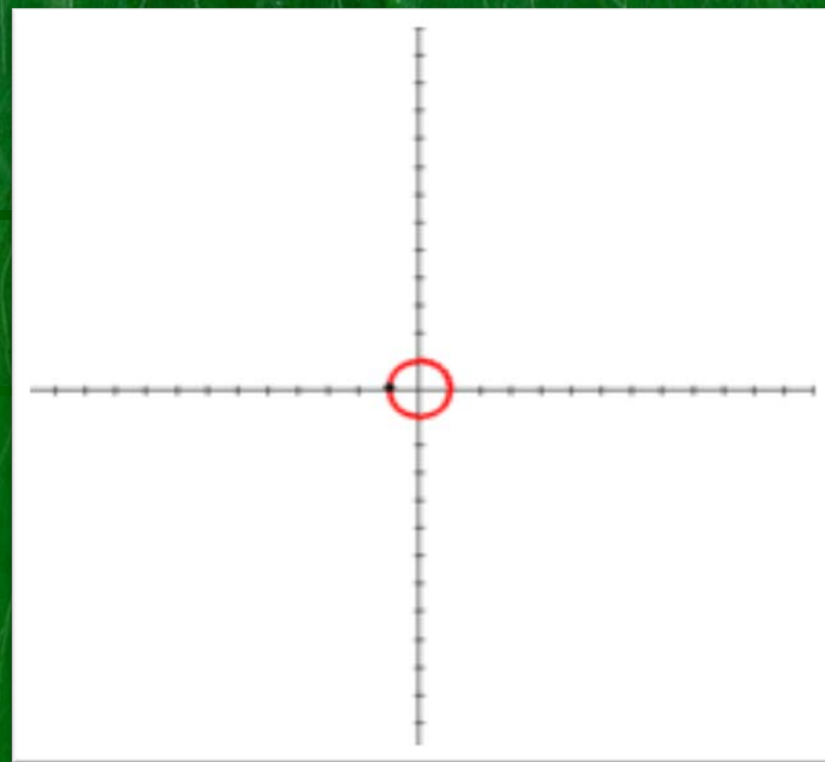
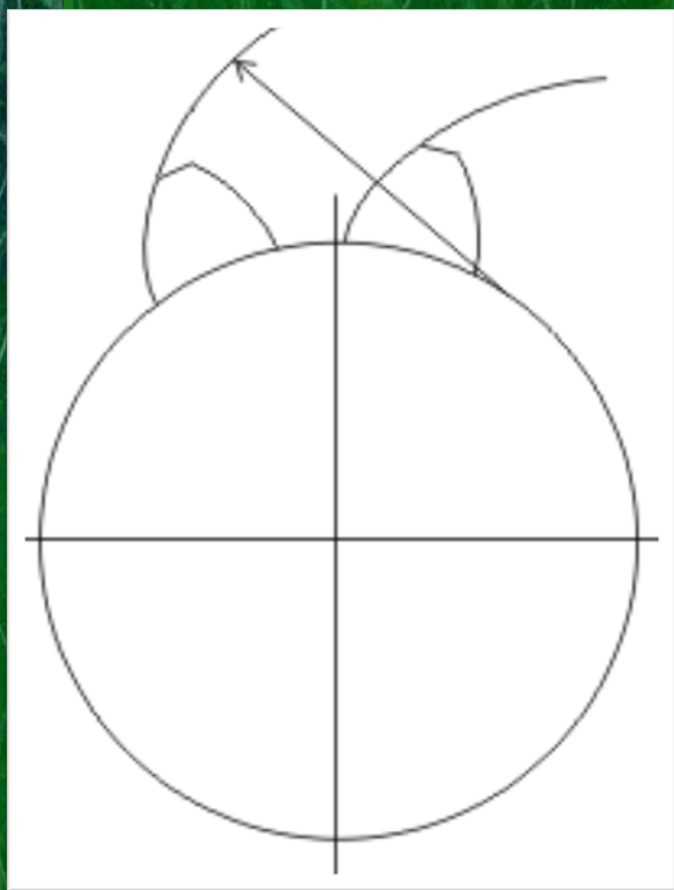
Линии контакта при вращении колес перемещаются от вершины к ножке зуба, при этом передаточное число должно оставаться постоянным в любой точке касания.



Из множества профилей, удовлетворяющих этому требованию, наиболее распространены эвольвентные, которые просты и удобны в изготовлении. Профили зуба эвольвентного зацепления образуются двумя симметричными эвольвентами.

ЭВОЛЬВЕНТНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ

Эвольвентой называется кривая, которую описывает какая-либо точка, лежащая на прямой линии, перекатываемой по окружности без скольжения.



ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Геометрические термины, определения и обозначения зубчатых цилиндрических передач установлены по ГОСТ 16531-70.

Окружной модуль $m = P/\pi$

Диаметр делительной окружности $d = mz$

Высота головки зуба $h_a = m$.

Высота ножки зуба $h_f = 1,25m$.

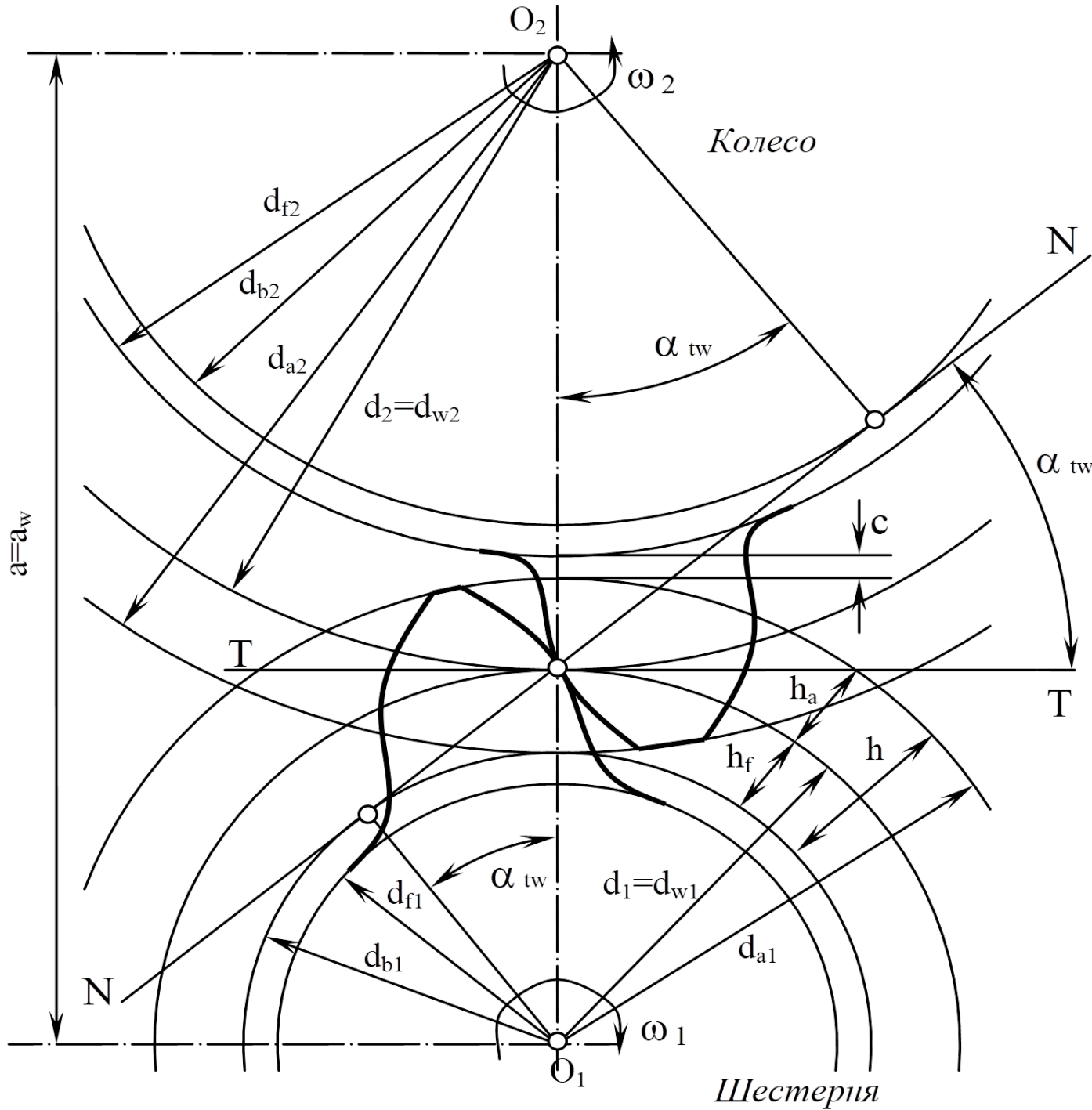
Диаметр вершин $d_a = d + 2h_a = d + 2m$.

Диаметр впадин $d_f = d - 2h_f = d - 2,5m$.

Межосевое расстояние $a_{\omega} = 0.5 (d_1 + d_2) = 0.5m (z_1 + z_2)$

ГЕ
ЭВ

РЫ
ИЯ



Методы изготовления зубчатых колёс

Существует два принципиально отличных метода изготовления зубчатых колёс:

1. МЕТОД КОПИРОВАНИЯ,

при котором рабочие кромки инструмента по форме соответствуют обрабатываемой поверхности (конгруэнтны ей, т. е. заполняют эту поверхность как отливка заполняет форму);

2. МЕТОД ОБКАТКИ (МЕТОД ОГИБАНИЯ),

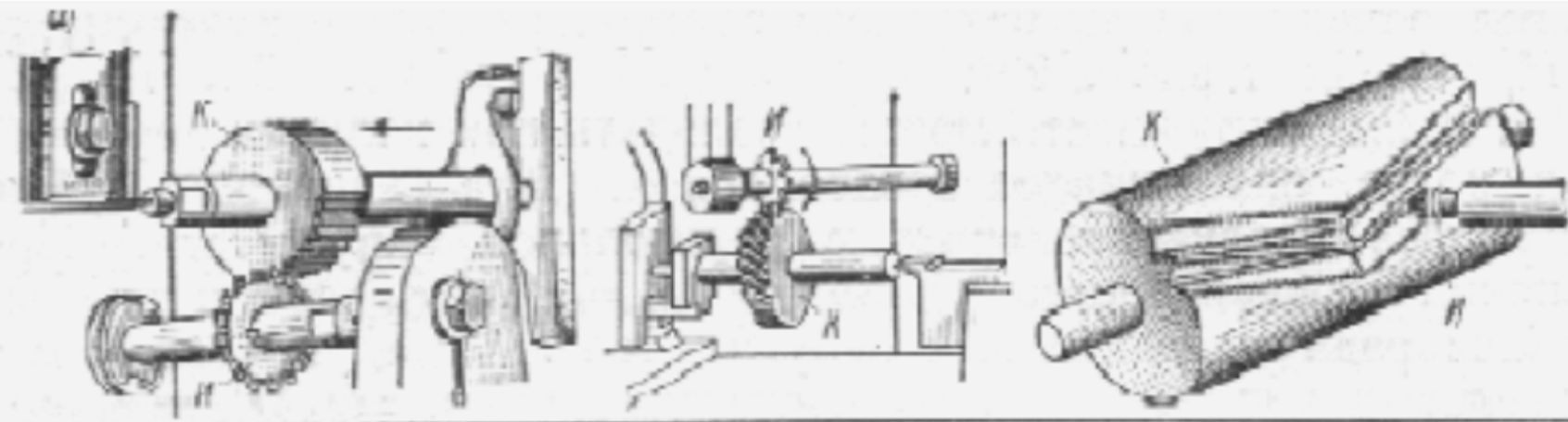
при котором инструмент и заготовка за счет кинематической цепи станка выполняют два движения - резания и обкатки.

Виды копирования:

Нарезание зубчатого колеса профилированной дисковой или пальцевой фрезой

При этом прорезается впадина первого зуба, затем заготовка с помощью делительного устройства поворачивается на угловой шаг и прорезается следующая впадина. Операции повторяются пока не будут прорезаны все впадины.

Производительность данного способа низкая, точность и качество поверхности невысокие.



Виды копирования:

Отливка зубчатого колеса в форму

внутренняя поверхность литейной формы конгруэнтна наружной поверхности зубчатого колеса.

Производительность и точность метода высокая, однако при этом нельзя получить высокой прочности и твердости зубьев.

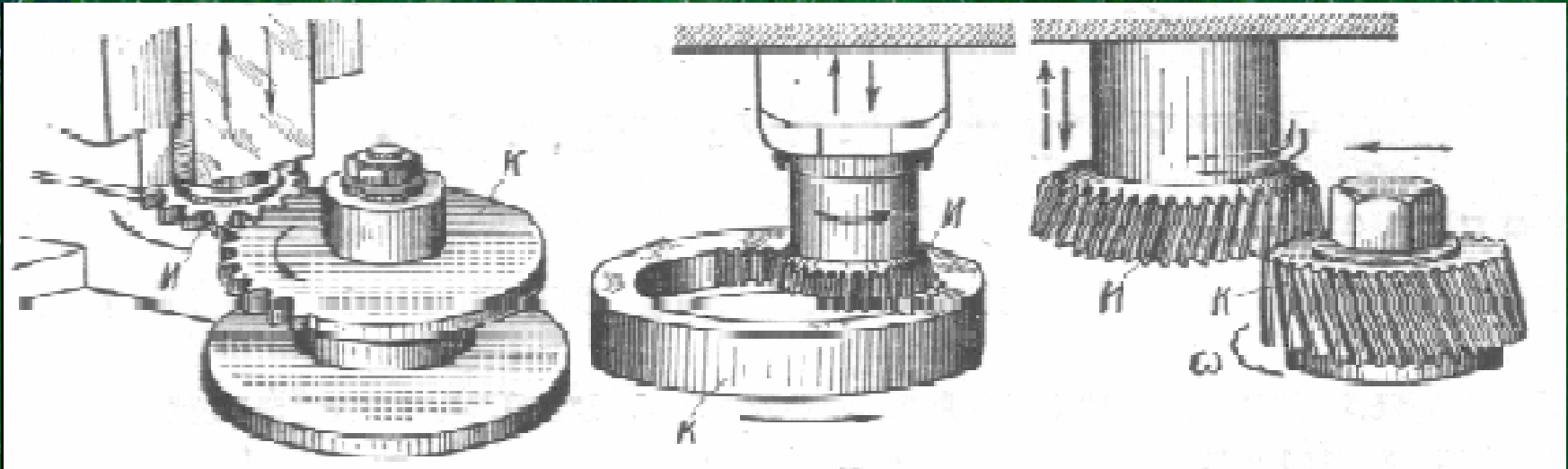
Виды обкатки :

■ Обработка на зубодолбежных станках долбяками

Долбяк - зубчатое колесо, снабжённое режущими кромками и нарезанное с переменным смещением инструмента в каждом сечении, перпендикулярном оси

Производительность достаточно высокая, точность изготовления и чистота поверхностей средняя.

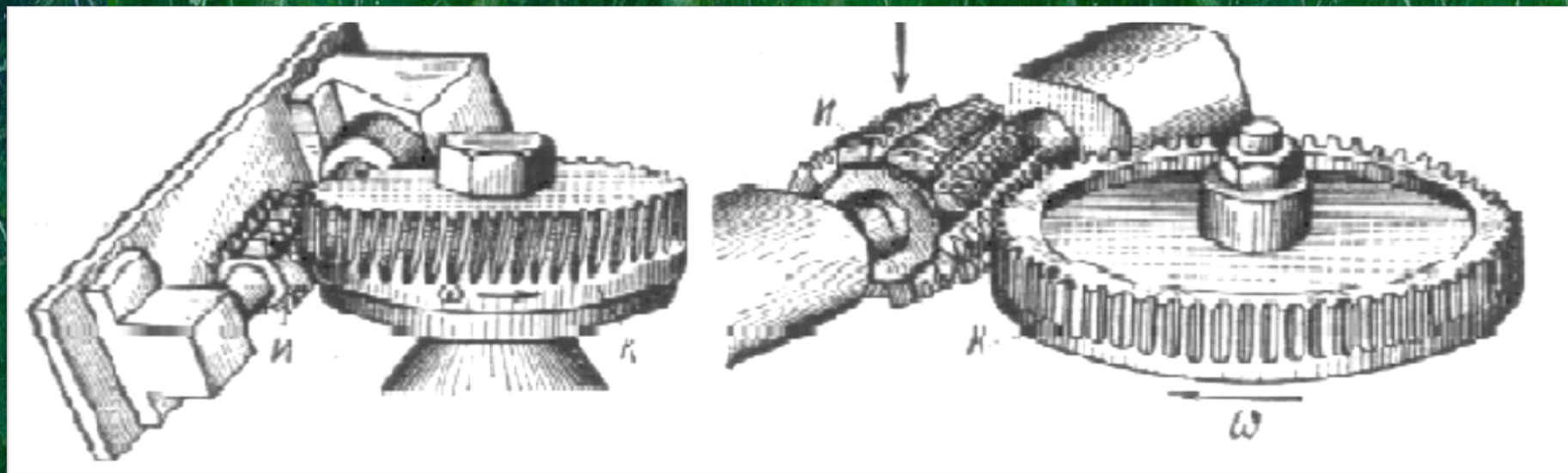
Можно обрабатывать колеса из материалов с невысокой твердостью поверхности.



Виды обкатки :

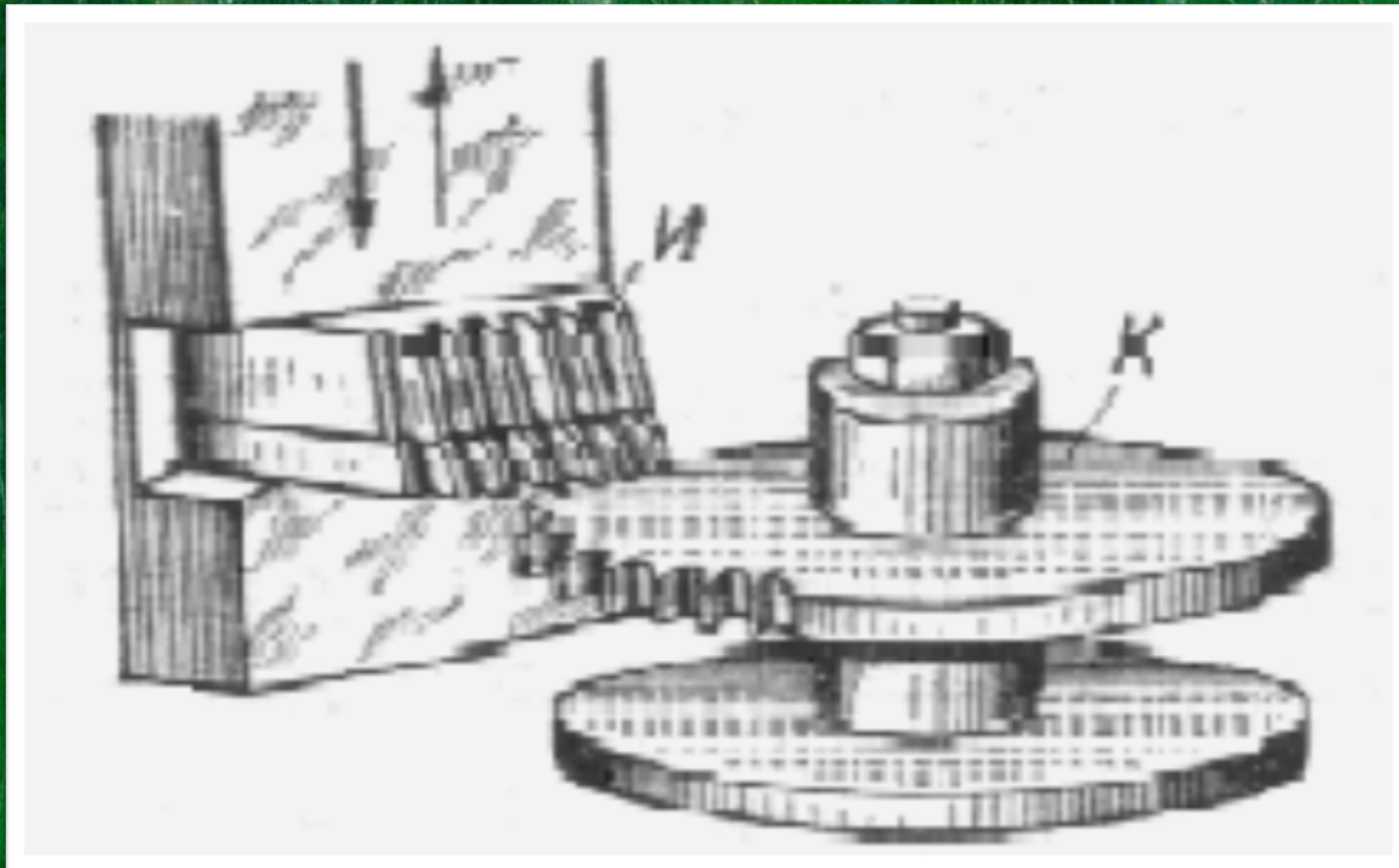
■ Обработка на зубофрезерных станках червячными фрезами

Червячная фреза представляет собой червяк (винт) с нанесёнными на нём винтовыми продольными канавками, необходимыми для образования режущих кромок у зубьев и выхода стружки.



Виды обкатки :

- Обработка на зубострогальных станках инструментальной рейкой



Виды обкатки :

- Накатка зубьев с помощью специального профилированного инструмента.

Обеспечивает высокую производительность и хорошую чистоту поверхности. Недостаток метода образование наклепанного поверхностного слоя, который после окончания обработки изменяет свои размеры.

Применяется для пластичных материалов, обычно на этапах черновой обработки.

- Обработка на зубошлифовальных станках дисковыми кругами.

Применяется как окончательная операция после зубонарезания (или накатки зубьев) и термической обработки.

Обеспечивает высокую точность и чистоту поверхности. *Применяется для материалов с высокой поверхностной прочностью.*

Стандартами предусмотрены **12 степеней точности** с 1 по 12-ю в порядке убывания, характеризующиеся соответствующими числовыми нормами по элементам сопряжений.

Зубчатые колёса **3-8-й степеней** точности нарезают с использованием метода обкатки,

Зубчатые колёса, изготавливаемые со степенью точности **9 и 10**, могут быть нарезаны методом копирования.

Поверхности **10-й и 11-й** степеней точности могут быть получены после тщательной припиловки зубьев по шаблонам.



Материалы зубчатых колёс

Основными материалами для зубчатых колес являются **ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ СТАЛИ**.

Термообработка производится для повышения твердости, от которой зависит износостойкость и противозадирные свойства зубьев. Реже зубчатые колёса выполняют из чугунов и пластмасс.

В зависимости от твердости зубьев зубчатые колеса делят на две группы:

Первая группа – колеса с твердостью < HB 350.

Вторая группа – колеса с твердостью > HB 350.

Материалы зубчатых колёс

Первая группа – колеса с твердостью < HB 350.

Применяются в мало- и средненагруженных передачах.

углеродистые стали 35, 40, 45, 50, 50Г,

легированные стали 40Х, 45Х, 40ХН и др.

Термообработка (нормализация или улучшение)

производится до нарезания зубьев.

Такие колеса хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению.

Для равномерного износа и лучшей прирабатываемости зубьев твердость шестерни должна быть на $(25 \dots 50) HB$ больше твердости колеса.

Материалы зубчатых колёс

Вторая группа – колеса с твердостью > HB 350.

Применяются в нагруженных передачах.

Термическая обработка: объемная и поверхностная закалка, цементация, азотирование, цианирование.

Эти виды термообработки позволяют в несколько раз повысить нагрузочную способность передачи по сравнению с нормализованными или улучшенными сталями.

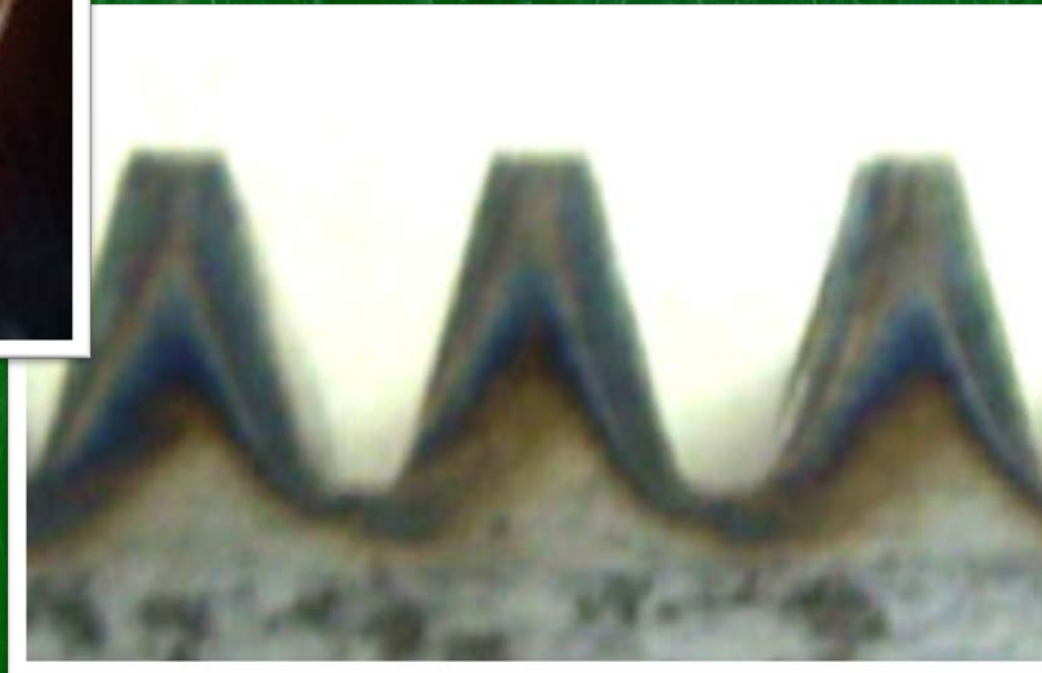
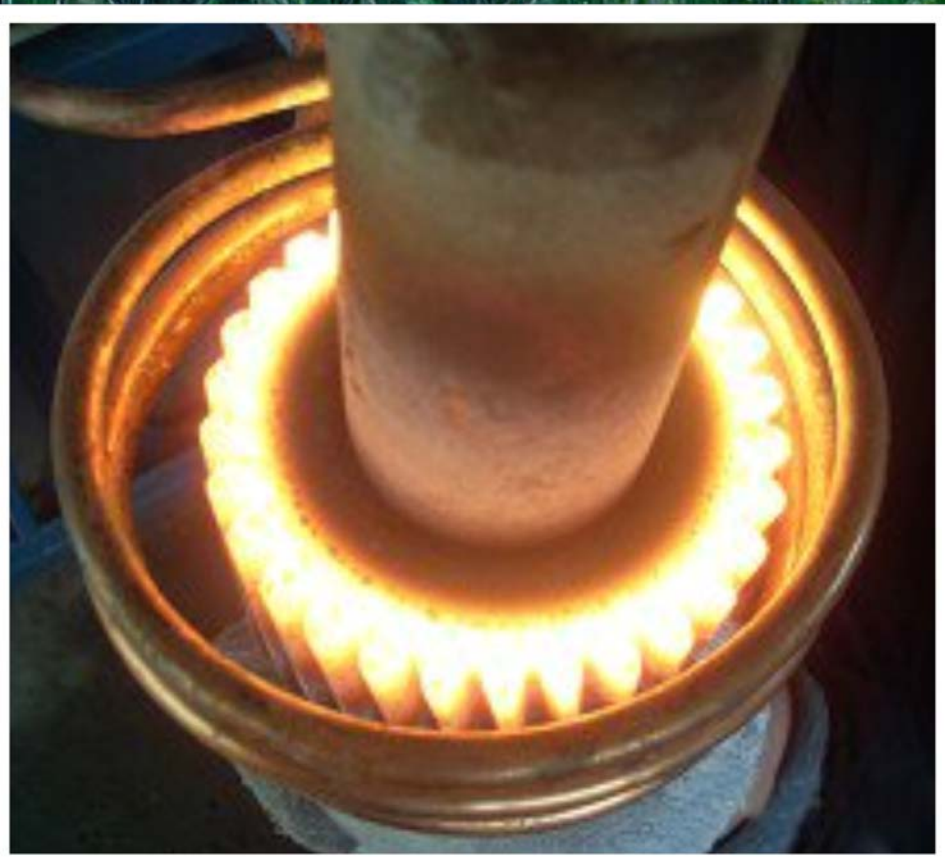
При цементации используют стали 15, 20, 15X, 20X и др.

Для азотируемых колес применяют сталь 38ХМЮА и др.

Зубья с твердостью, большей *HB 350*, нарезают до термообработки.

Так как некоторые виды термообработки вызывают коробление зубьев, то для исправления формы зубьев после термообработки применяют отделочные операции: шлифовку, притирку и т.д.

Термообработка зубчатых колёс



ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗУБЬЕВ И КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Под действием сил F_n и силы трения $F_{тр} = F_n f$ зуб находится в сложном напряженном состоянии.

Основными напряжениями, определяющими его работоспособность, являются:

контактные напряжения σ_H

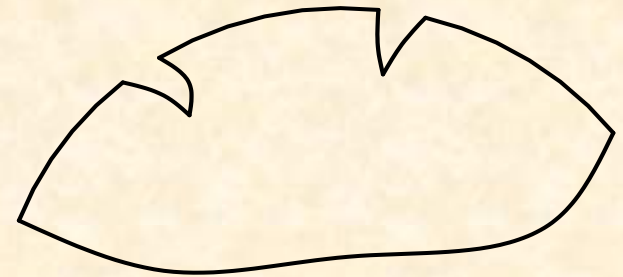
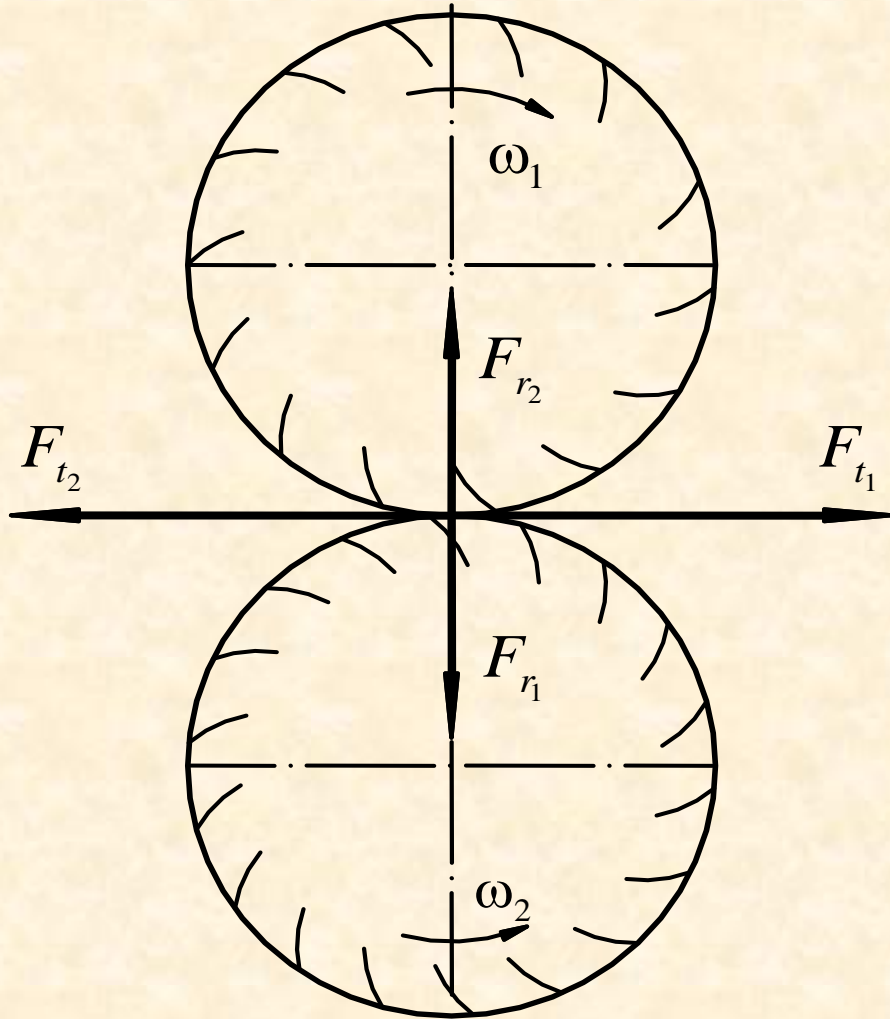
изгибные напряжения σ_F

Они циклически изменяются во времени.

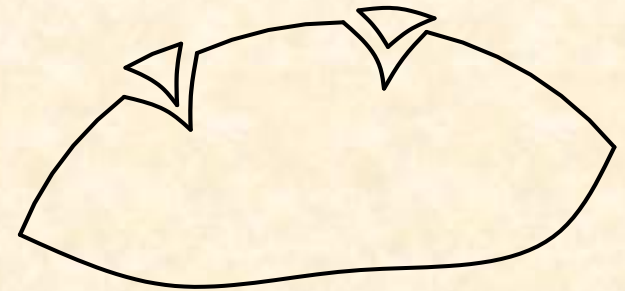
Виды разрушения зубьев:

- поломка зуба;
- разрушение рабочей поверхности зуба:
 - А. усталостное выкрашивание;
 - Б. заедание зубьев;
 - В. абразивный износ

ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗУБЬЕВ



рост микротрещин



усталостное выкрашивание

ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗУБЬЕВ И КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

Является основным видом разрушения зубьев открытых передач.

По мере износа зуб утончается, ослабляется его ножка, увеличиваются зазоры в зацеплении, что в конечном итоге приводит к поломке зубьев.

Разрушению зубьев предшествует повышенный шум и динамические нагрузки.

ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗУБЬЕВ И КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

ЗАЕДАНИЕ ЗУБЬЕВ

Под заеданием понимают местное молекулярное сцепление (приваривание) частиц одного зуба к другому вследствие разрыва масляной пленки и повышения температуры в зоне контакта.

ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЗУБЬЕВ И КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

ПОЛОМКА ЗУБЬЕВ происходит

- от больших единичных перегрузок ударного или статического характера.

- от действия повторно-переменных напряжений.

Поломку зубьев предупреждают расчетом их на изгибную прочность.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы достоинства и недостатки зубчатых передач по сравнению с другими передачами?
2. По каким признакам классифицируют зубчатые передачи?
3. Какое расположение осей валов допускают зубчатые передачи?
4. Как классифицируют зубчатые передачи по расположению зубьев на поверхности колёс?
5. Какой профиль зуба наиболее распространён в зубчатых передачах?
6. При каких окружных скоростях работают тихоходные, среднескоростные, скоростные, быстроходные передачи?