

# Материалы и изготовление зубчатых колес.



**Дудко О.Н.**  
Лидский колледж ГрГУ им.  
Я.Купалы



## Цели урока:

---

- **Образовательная:** изучение основных методов изготовления зубчатых колес; закрепление и совершенствование знаний о зубчатых передачах;
- **Развивающая:** развитие технологического мышления;
- **Воспитательная:** воспитание добросовестного отношения к выполняемой работе.

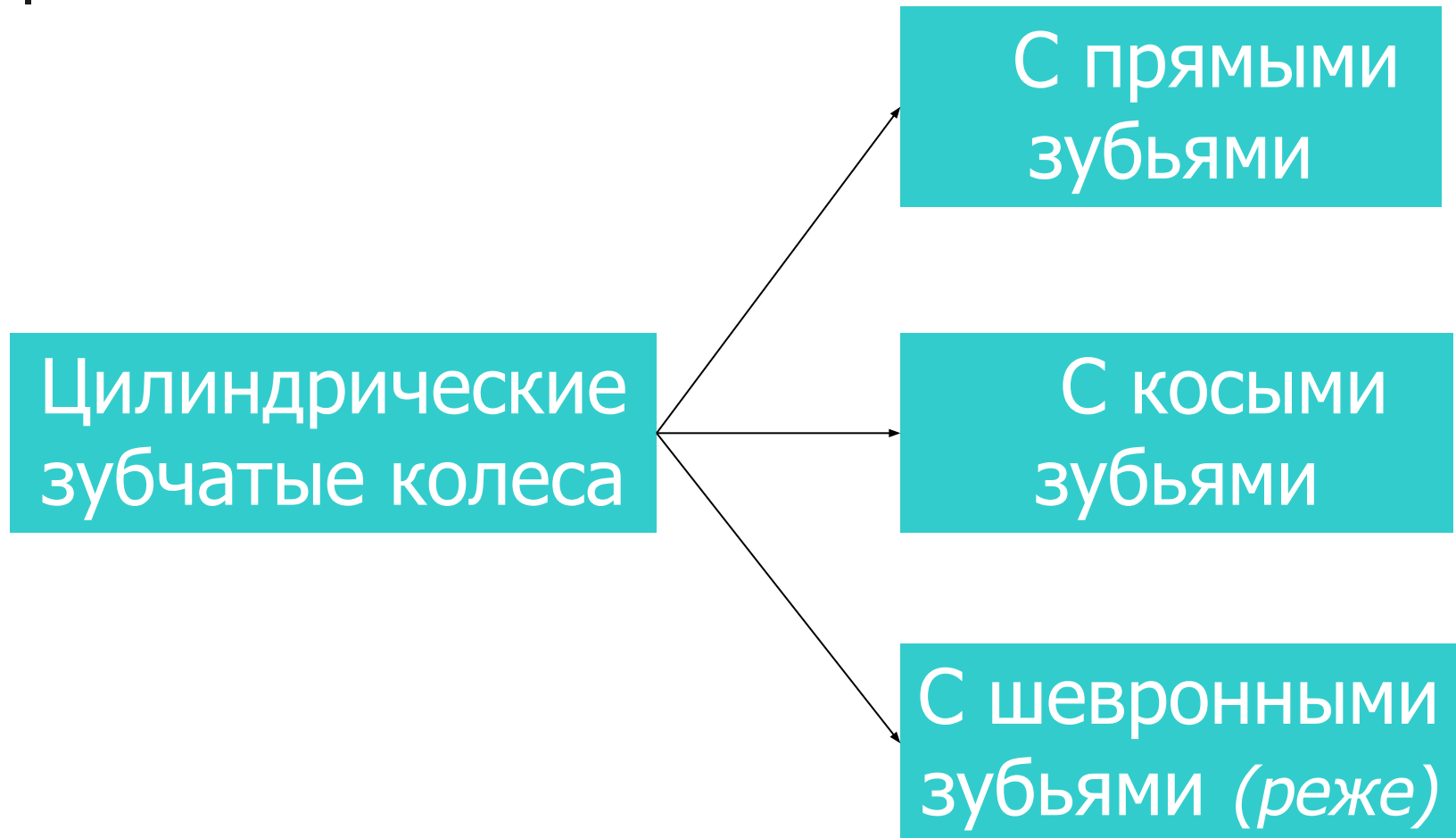


# **Вопросы к изучению:**

---

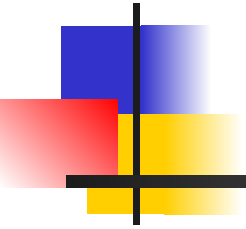
- 1. Материалы, применяемые при изготовлении зубчатых колес.**
- 2. Методы изготовления зубчатых колес.**
- 3. Виды разрушения зубьев.**
- 4. Критерии работоспособности зубчатых передач.**

# Классификация цилиндрических колес



# **1.Материалы, применяемые при изготовлении зубчатых колес.**

---





# 1. Материалы, применяемые при изготовлении зубчатых колес.

---

Материалы зубчатых колес выбирают в зависимости от назначения и условий работы передачи.

## Основные требования к материалам:

- - прочность поверхностного слоя и высокое сопротивление истиранию;
- - достаточная прочность при изгибе;
- - обрабатываемость, возможность получения достаточной точности и чистоты поверхности.

# 1. Материалы, применяемые при изготовлении зубчатых колес.

- - **сталь** углеродистую обыкновенного качества марок Ст5, Ст6; качественную сталь марок 35, 40, 45, 50, 55; легированную сталь марок 12ХНЗА, 30ХГС, 40Х, 35Х, 40ХН, 50Г; сталь 35Л, 45Л, 55Л;
- - **серый чугун** марок СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ40, высококачественный чугун марок ВЧ50-2, ВЧ45-5;
- - **неметаллические материалы** (текстолит марок ПТК, ПТ, ПТ-1, лингофоль, бакелит, капрон и др.).



# Стали.

---

Являются основным материалом для изготовления зубчатых колес. Термообработку производят для увеличения твердости. В зависимости от твердости зубчатые колеса делятся на 2 группы:

- -колеса с твердостью меньше либо равно 350 НВ. В таких случаях термообработка производится до нарезания зубьев. Такие колеса хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению, но такие передачи имеют относительно невысокую прочность и большие габариты.
- -колеса с твердостью больше 350 НВ. Здесь нарезание зубьев производится до термообработки, а отделка – после. Эти колеса плохо прирабатываются, поэтому требуют повышенной точности при изготовлении.

Для лучшей приработки зубьев и равномерного их износа для прямозубой передачи рекомендуется твердость шестерни выбирать на 20...30 единиц НВ больше, чем твердость зубчатого колеса.





# Чугуны.

---

Тихоходные и малонагруженные открытые и реже закрытые передачи зубчатого колеса изготавливают из серого чугуна марок СЧ 25 и выше и высококачественного чугуна.

Зубья чугунных колёс хорошо прирабатываются и хорошо противостоят усталостному разрушению и заеданию в условиях бедной смазки.

# Пластмассы.

Рекомендуются текстолит, капрон, лингофоль.

Обычно только одно из колес пары изготавливают из пластмассы. Эти колеса обеспечивают бесшумную и плавную работу, применяются в низконагруженных передачах.



Сборка самого большого в мире зубчатого колеса на заводе Rexnord.

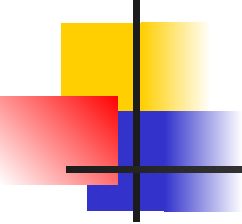
Колесо имеет внешний диаметр 13,3м, вес 140т и 344 зуба. При этом погрешность шага зубьев не превышает 0,04мм.





## **2. Методы изготовления зубчатых колес.**

---



---

Широкое распространение зубчатых передач **делает необходимой** большую научно-исследовательскую работу **по вопросам конструирования и технологии изготовления зубчатых колёс** и всестороннюю стандартизацию в этой области.

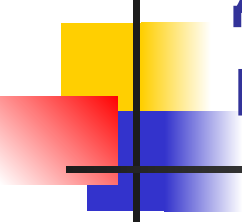
# Степени точности зубчатых колес

- По **ГОСТ 1643** установлено **12** степеней точности

Допуск  
не установлен

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
*возрастание точности*

Допуск  
не установлен



## Для каждой степени точности предусматривают следующие нормы:

---

- **кинематической точности колеса**, определяют полную погрешность угла поворота зубчатых колес за один оборот;
- **плавности работы колес**, определяют составляющую полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющейся за оборот колеса;
- **контакта зубьев**, определяют отклонение относительных размеров пятна контакта сопряженных зубьев в передаче.



# Заготовки зубчатых колес получают:

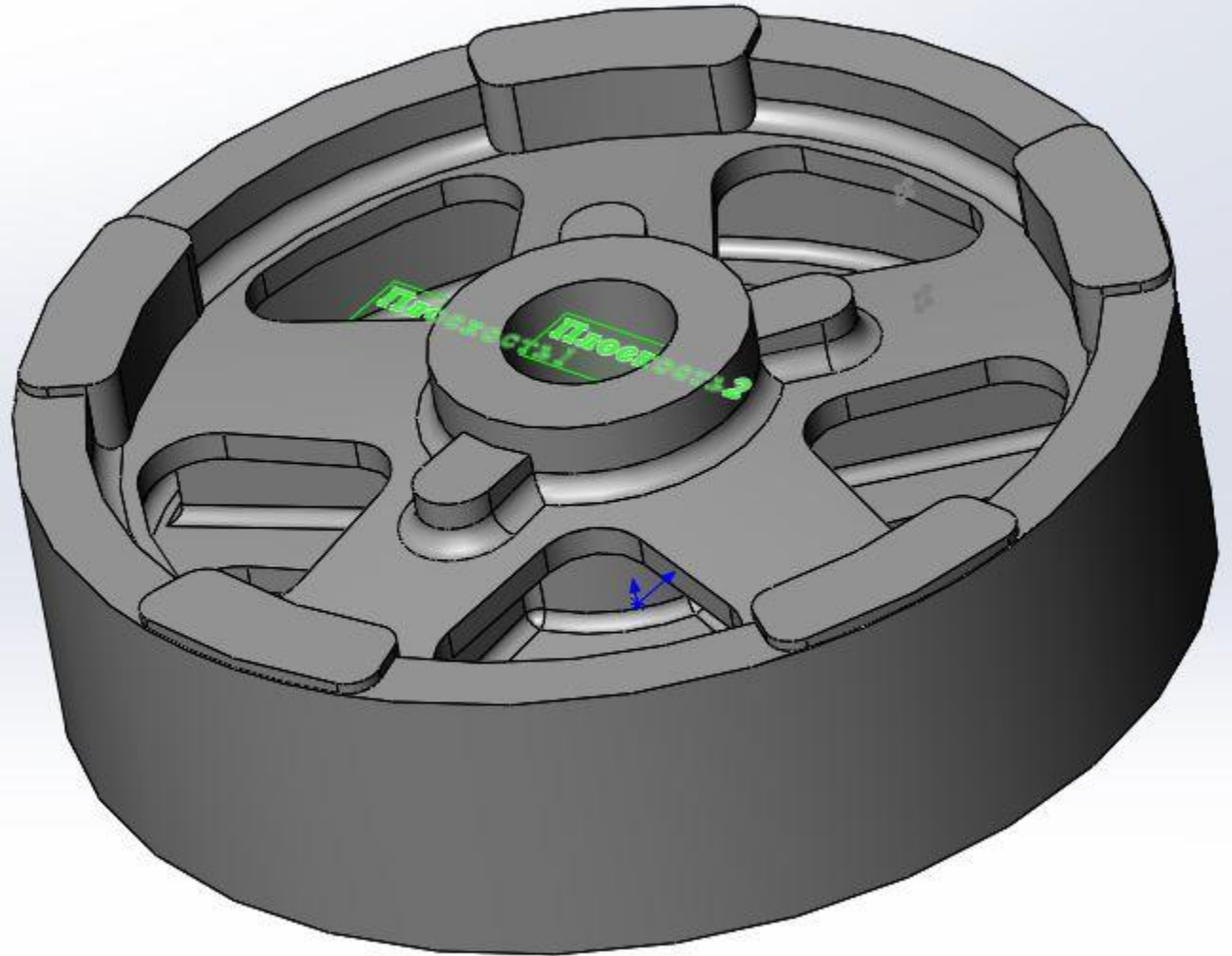
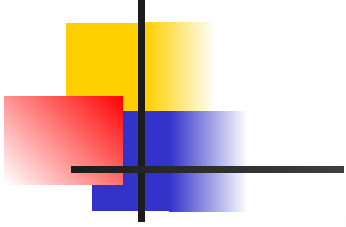
---

ЛИТЬЕМ

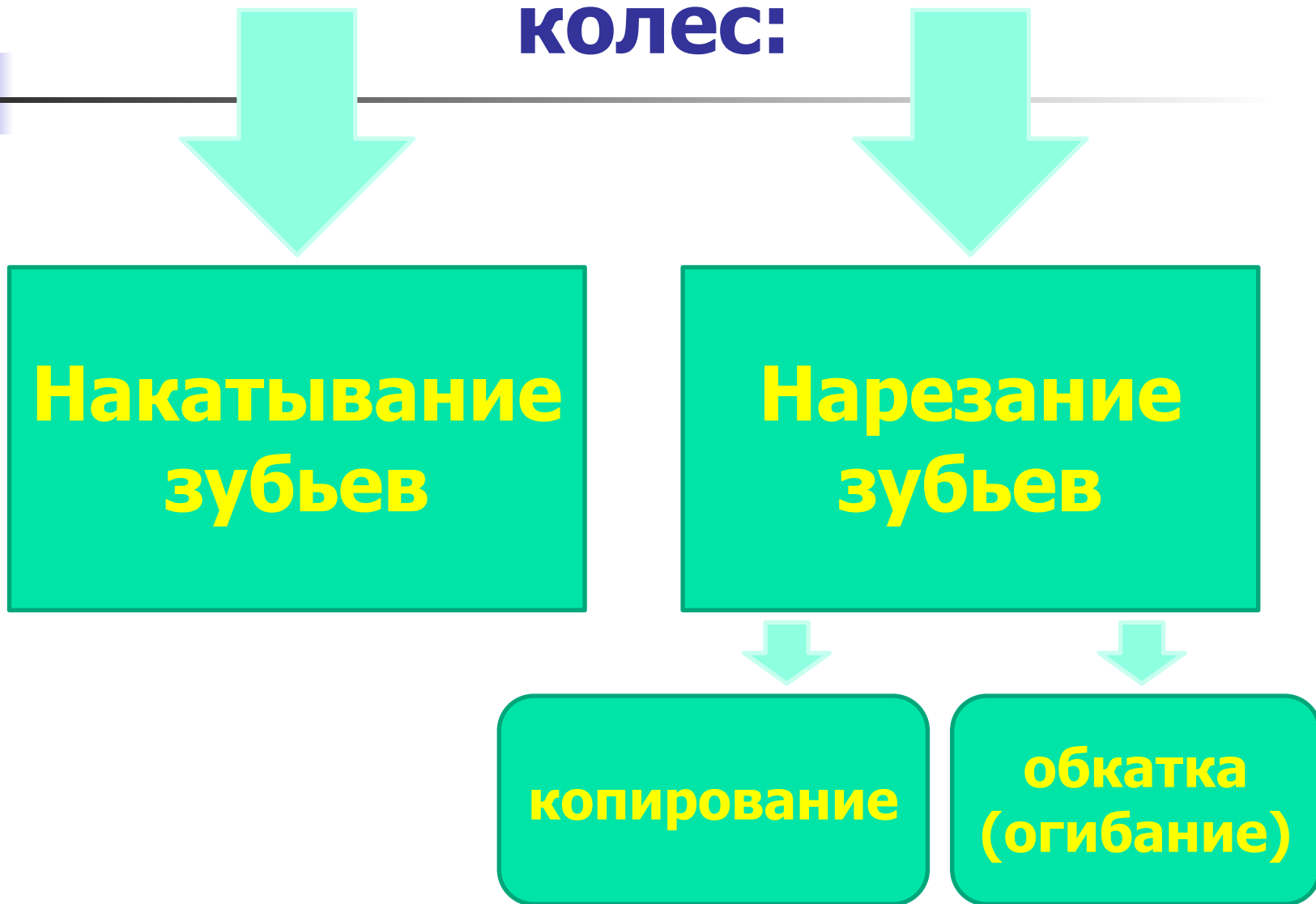
КОВКОЙ

ШТАМПОВОЙ





# Существуют два способа изготовления зубчатых колес:





# Накатывание зубьев:

---

Применяется в массовом производстве. Предварительное формообразование зубьев цилиндрических и конических колес производится горячим накатыванием. Венец стальной заготовки нагревают токами высокой частоты до температуры  $\sim 1200^{\circ}\text{C}$ , а затем обкатывают между колесами-накатниками. При этом на венце выдавливаются зубья. Для получения колес более высокой точности производят последующую механическую обработку зубьев или холодное накатывание — калибровку.

Зубонакатывание — высокопроизводительный метод изготовления колес, резко сокращающий отход металла в стружку.



# Нарезание зубьев:

---

1. **Метод копирования** заключается в прорезании впадин между зубьями модульными фрезами, дисковыми или пальцевыми. После прорезания каждой впадины заготовку поворачивают на шаг зацепления. Профиль впадины представляет собой копию профиля режущих кромок фрезы, отсюда и название — метод копирования.

Метод копирования — малопроизводительный и неточный, применяется преимущественно в ремонтном деле.



# Нарезание зубьев:

---

2. **Методом обкатки** нарезания зубьев основан на воспроизведении зацепления зубчатой пары, одним из элементов которой является режущий инструмент — *червячная фреза, долбяк* или инструментальной рейкой — *гребенкой*.

Червячная фреза имеет в осевом сечении форму инструментальной рейки. При нарезании зубьев заготовка и фреза вращаются вокруг своих осей, обеспечивая непрерывность процесса. Нарезание зубьев червячными фрезами широко применяют для изготовления цилиндрических колес с внешним расположением зубьев. Для нарезания колес с внутренним расположением зубьев применяют долбяки. Гребенками нарезают прямозубые и косозубые колеса с большим модулем зацепления.

# СПОСОБЫ НАРЕЗАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

## Метод копирования

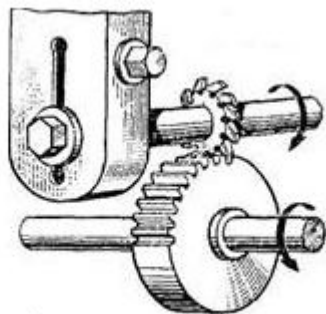


Рис. 2. Нарезание зубьев методом копирования дисковой фрезой

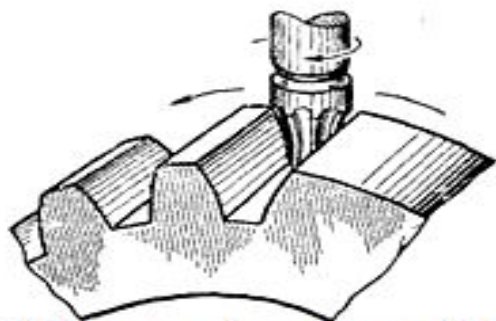


Рис. 3. Нарезание зубьев пальцевой фрезой

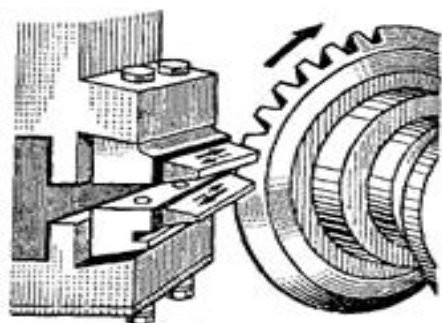


Рис.8. Нарезание зубьев конического колеса

## Метод обкатки

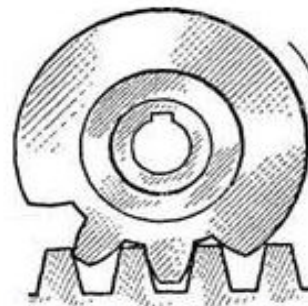


Рис.7. Нарезание зубьев инструментальной рейкой

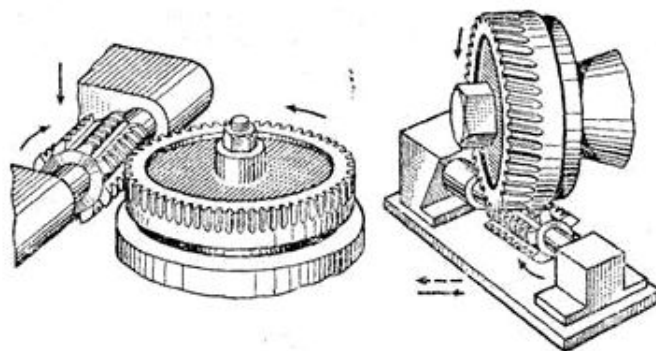


Рис.6. Нарезание зубьев червячной фрезой

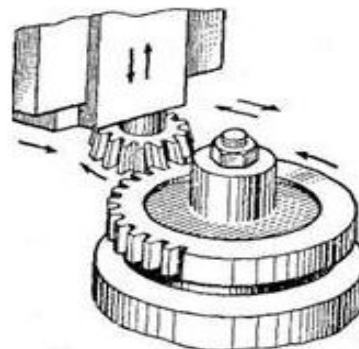


Рис.4. Нарезание зубьев наружного зацепления.



# Отделка зубьев:

---

Для достижения высокой точности и малой шероховатости поверхности зубьев после нарезания производится их отделка.

- - **шлифование** - производится методом копирования или обкатки шлифовальным кругом;
- - **шевингование** - выполняется специальным инструментом шеввер-шестерней или шеввер-рейкой (обкатывая обрабатываемое колесо, шеввер отделяет зубья до требуемых точности и шероховатости поверхности);
- - **притирка** - производится с помощью специального чугунного колеса (притира), находящегося в зацеплении с обрабатываемым колесом.



# 1. Шлифование

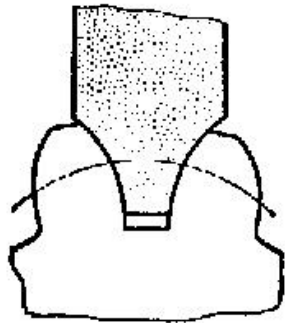
---

- Наиболее надежный метод отделочной обработки, обеспечивающий **высокую точность**, как правило, закаленных зубчатых колес.
- Шлифование зубьев производят на зубошлифовальных станках (методом копирования и методом обкатки).
- **Степень точности 6...5.**
- $Ra_{1,25} \dots 0,5$ .

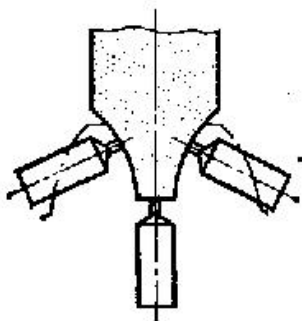


# 1. Шлифование

а)



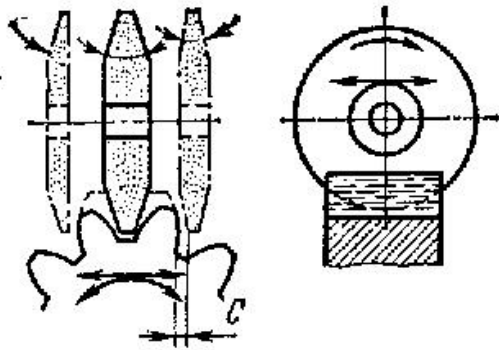
б)



- А. Методом копирования, профилированными кругами.
- Они предназначены для шлифования прямозубых колес.
- Ось заготовки в этих станках расположена горизонтально.

а) — профилирование зубьев;  
б) — правка шлифовального круга алмазом.

# 1. Шлифование

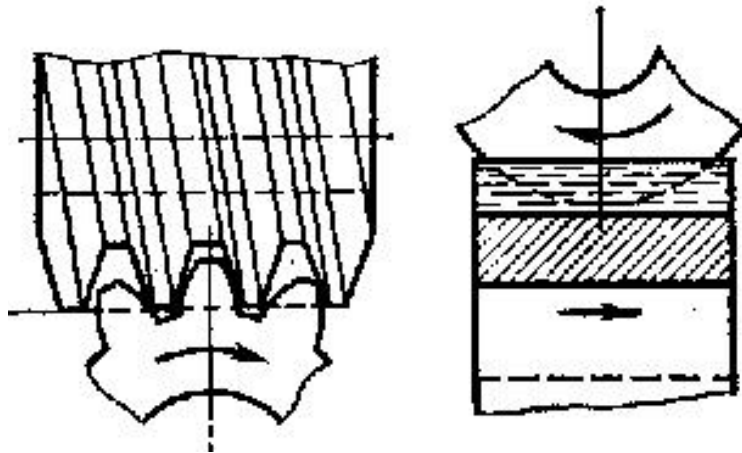


c – припуск на чистовое шлифование



- Б. Обкаткой дисковыми кругами с прямолинейными боковыми сторонами профиля рейки.
- Крайние круги для предварительной обработки. Средний – для чистовой. Обычно работает средний круг (*трудно затачивать три круга*).
- Производительность в 3...5 раз меньше способа А.

# 1. Шлифование



- **В. Обкатка зуба червячным кругом (аналогично зубофрезерованию)**
- Производительность выше в 4-5 раз предыдущих способов.
- $m \leq 6$  мм.
- При  $m \leq 1$  зуб шлифуют из целой заготовки без предварительного нарезания.

# Затраты на шлифование 1 зуба при $m=2...3$ мм

Метод	Время, с
А. Копирование	30...40
Б. Обкатка с единичным делением	70...90
В. Непрерывная обкатка червячным кругом	16

## 2. Шевингование

- **Шевингование** — чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес ( $\leq HRC_{э}40$ ).
- Инструмент – **шевер**.



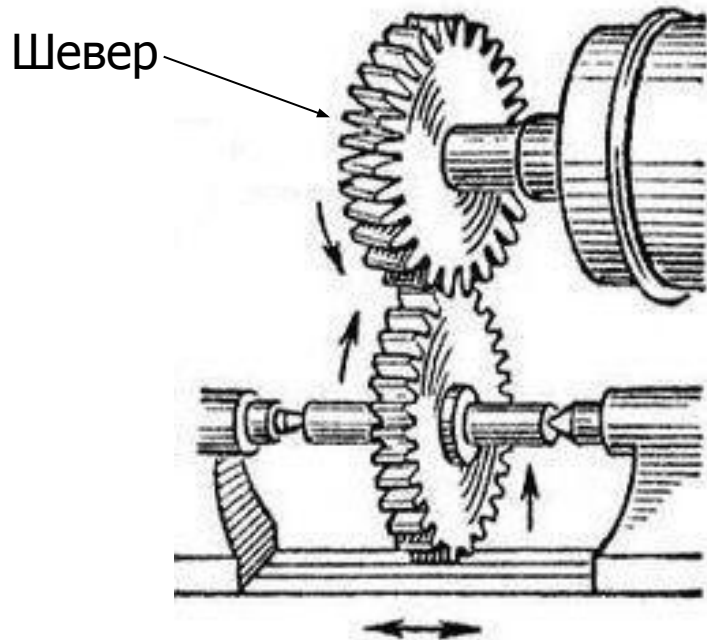


## 2. Шевингование

---

- При шевинговании срезаются тонкие волосовидные стружки толщиной 0,05...0,01 мм острыми кромками канавок шевера во время движения обкатки обрабатываемого колеса и инструмента и возникающего при этом относительного скольжения профилей зацепляющихся зубьев.
- Степень точности 7...6.
- Ra1,25...0,63.

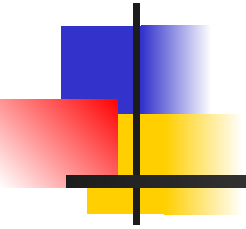
## 2. Шевингование



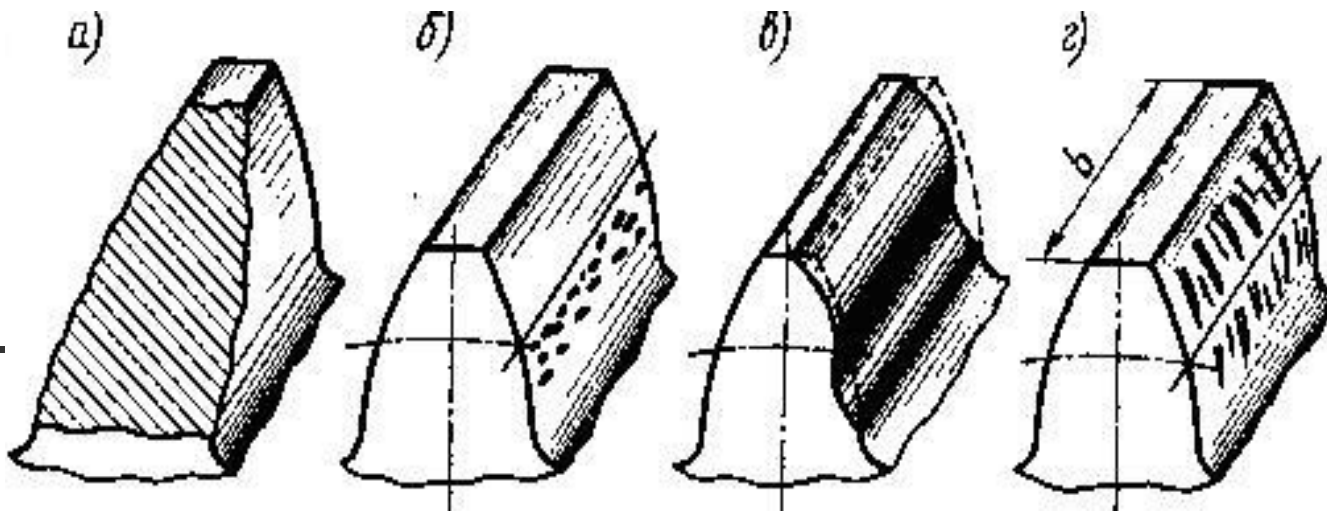
- Шевинговальные станки с горизонтальной или вертикальной осью (для обработки колес большого диаметра).
- Шевингуют зубчатые колеса как наружного, так и внутреннего зацепления.

# **3. Виды разрушения зубчатых колес.**

---

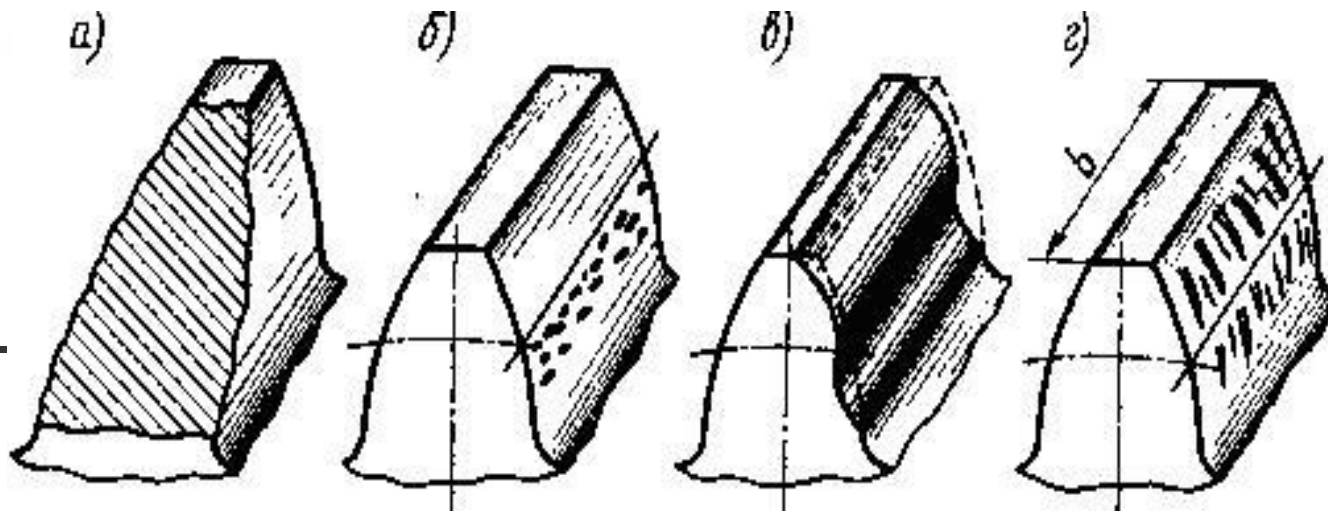




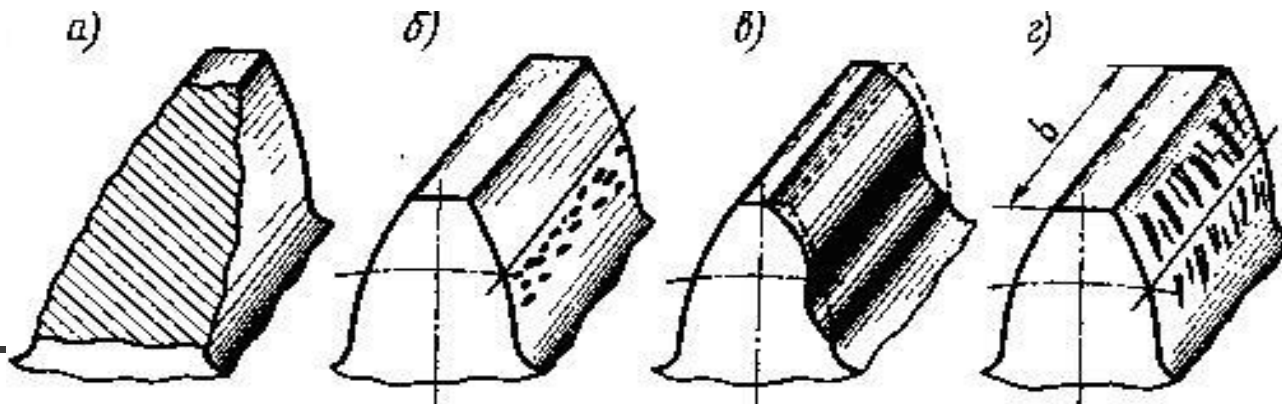


- **а) Излом зубьев.** Различают два вида излома зубьев. **Излом от больших перегрузок**, а иногда от перекоса валов и неравномерной нагрузки по ширине зубчатого венца **и усталостный излом**, происходящий от длительного действия переменных напряжений изгиба, которые вызывают усталость материала зубьев.

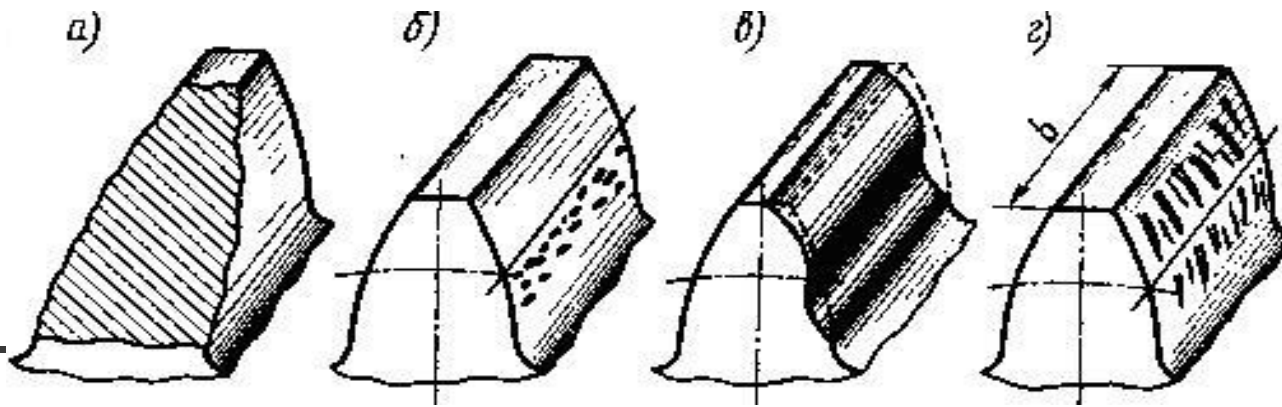
Усталостные трещины образуются чаще всего у основания зуба на той стороне, где от изгиба возникают напряжения растяжения. Для предупреждения усталостного излома применяют: колёса с положительным смещением при нарезании зубьев; термообработку; дробеструйный наклёп; жёсткие валы, увеличивают модуль



**б) Усталостное выкрашивание рабочих поверхностей зубьев.** Основным видом разрушения поверхности зубьев для большинства закрытых быстроходных передач, работающих при смазке. Возникает вследствие длительного действия переменных контактных напряжений, вызывающих усталость материала зубьев. Выкрашивание обычно начинается вблизи полюсной линии на ножках зубьев, где развивается наибольшая сила трения. Развитию трещин способствует расклинивающий эффект смазочного материала, который запрессовывается в трещины зубьев при зацеплении. Повторяясь, такое действие приводит к откалыванию частиц металла поверхности зубьев и к образованию вначале мелких ямок, переходящих далее в раковины. При выкрашивании нарушается условия образования сплошной масляной плёнки, появляется металлический контакт с последующим быстрым износом или задиром поверхности. Для предупреждения усталостного выкрашивания повышают твёрдость поверхности зубьев и степень их точности, правильно выбирают сорт масла и др.



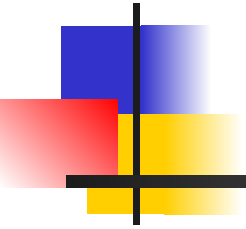
- **в) Изнашивание зубьев.** Основной вид разрушения зубьев открытых передач, а также закрытых, но недостаточно защищённых от загрязнения абразивными частицами (пыль, песчинки, продукты износа и т.п.). Такие передачи встречаются в сельскохозяйственных, транспортных, грузоподъёмных машинах и т.п. По мере изнашивания первоначальный эвольвентный профиль зубьев искажается увеличиваются зазоры в зацеплении, возникают динамические нагрузки и повышенный шум. Прочность изношенного зуба понижается вследствие уменьшения площади поперечного сечения, что может привести к излому зуба. Основные меры предупреждения износа – повышение твёрдости зубьев, защита от загрязнения и др.



- **г) Заедание зубьев** происходит преимущественно в высокоскоростных быстроходных передачах. В месте контакта зубьев развиваются высокие давления и температура, масляная плёнка разрывается и появляется металлический контакт. Здесь происходит как бы сваривание частиц металла с последующим отрывом их от менее прочной поверхности. Образовавшиеся наросты на зубьях задирают поверхности других зубьев, оставляя на них широкие и глубокие борозды в направлении скольжения. Для предупреждения заедания повышают твёрдость рабочих поверхностей зубьев, применяют противозадиричные масла и другие меры, что и против изнашивания.

# **3. Критерии работоспособности зубчатых передач.**

---





# Работоспособность з/к

---

При передаче вращающего момента в зацеплении действует нормальная сила и сила трения, связанная со скольжением. Под действием этих сил зуб находится в сложном деформированном состоянии. Решающее влияние на его работоспособность оказывают контактные напряжения и напряжения изгиба, изменяющиеся по некоторому прерывистому циклу. Переменные напряжения являются причиной усталостного разрушения зубьев: излома и выкрашивания рабочих поверхностей. Сила трения вызывает износ и заедание зубьев.

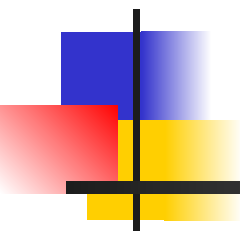


# Работоспособность з/к

---

Важнейшими критериями работоспособности зубчатых колёс приводов являются объёмная прочность зубьев и износостойкость их активных поверхностей. Нагрузочная способность хорошо смазанных поверхностей ограничивается сопротивлением выкрашиванию. Для уменьшения расхода материалов назначают высокую твёрдость трущихся поверхностей.

Несущая способность зубчатых передач по контактной прочности тем выше, чем выше поверхностная твердость зубьев. Повышение твердости в два раза позволяет уменьшить массу редуктора примерно в четыре раза.

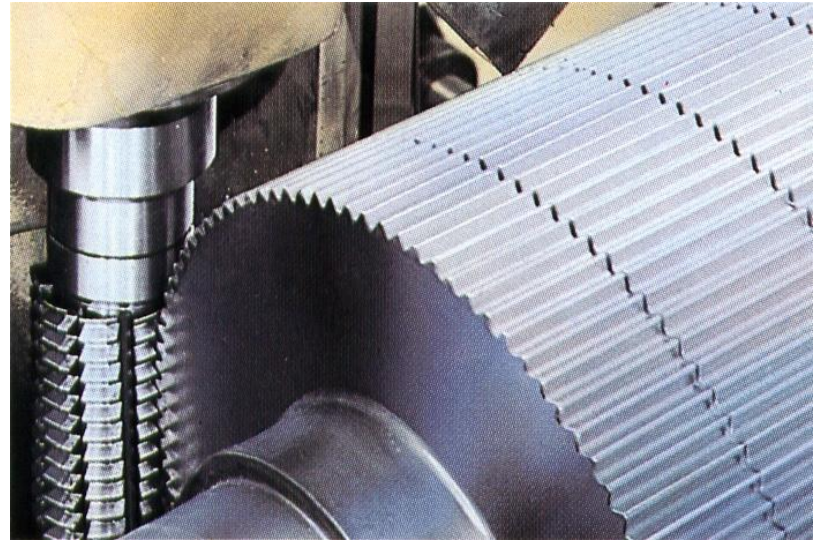


# **Закрепление пройденного материала.**

---



# 1. Зубофрезерование червячными фрезами



## 2. Зубодолбление





---

- **Спасибо за внимание!**

- **Урок окончен!**

