

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Разработал: доцент каф. 202
Ковеза Юрий Владимирович
ауд. 227 МК
khai202.ho.ua

Лектор: ассистент каф. 202
Светличный Сергей Петрович
ауд. 246

Содержание лекции:

1. Назначение. Классификация. Преимущества и недостатки.
2. Характер работы зубьев.
3. Виды повреждений зубьев.
4. Расчетная нагрузка на зубья.
5. Коэффициент внутренней динамической нагрузки.
6. Коэффициент концентрации нагрузки по длине контактной линии.

Содержание лекции:

7. Коэффициент распределения нагрузки между зубьями.
8. Коэффициент внешней динамической нагрузки.
9. Точность зубчатых передач.

Назначение

Зубчатой передачей называется трехзвенный механизм, в котором два подвижных звена являются зубчатыми колесами, образующими с неподвижным звеном вращательные или поступательные кинематические пары.



Классификация

По форме профиля зубьев

- Эвольвентные
- Круговые (передачи Новикова)
- Циклоидальные

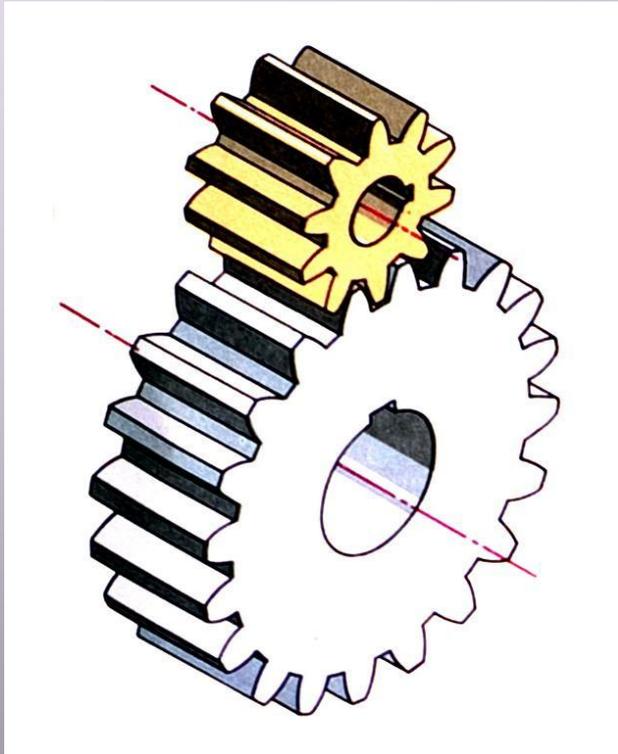
По типу зубьев

- Прямозубые
- Косозубые
- Шевронные
- Круговые

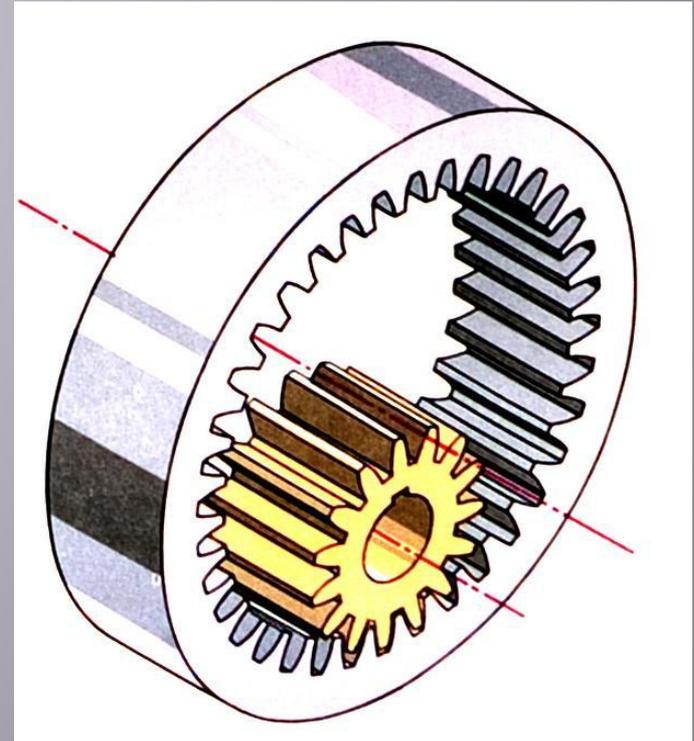
По степени защищенности

- Закрытые
- Открытые

Классификация по расположению зубчатых венцов



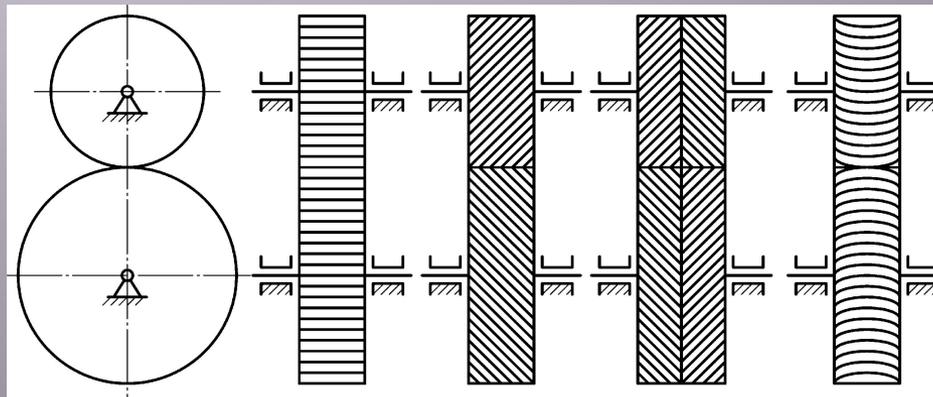
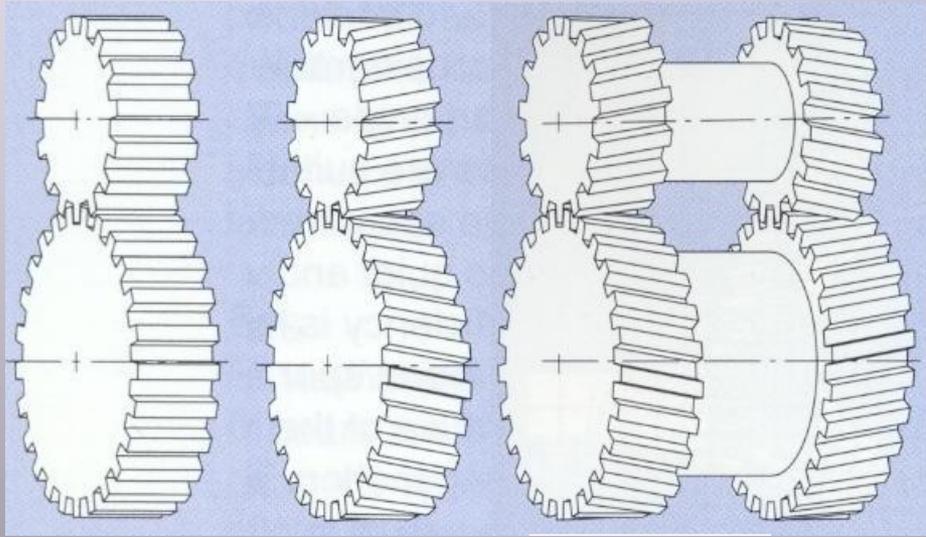
Внешнее зацепление



Внутреннее зацепление

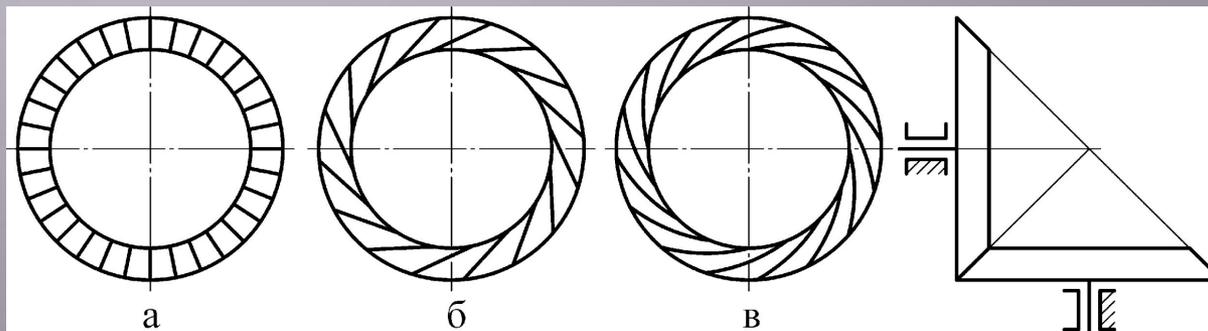
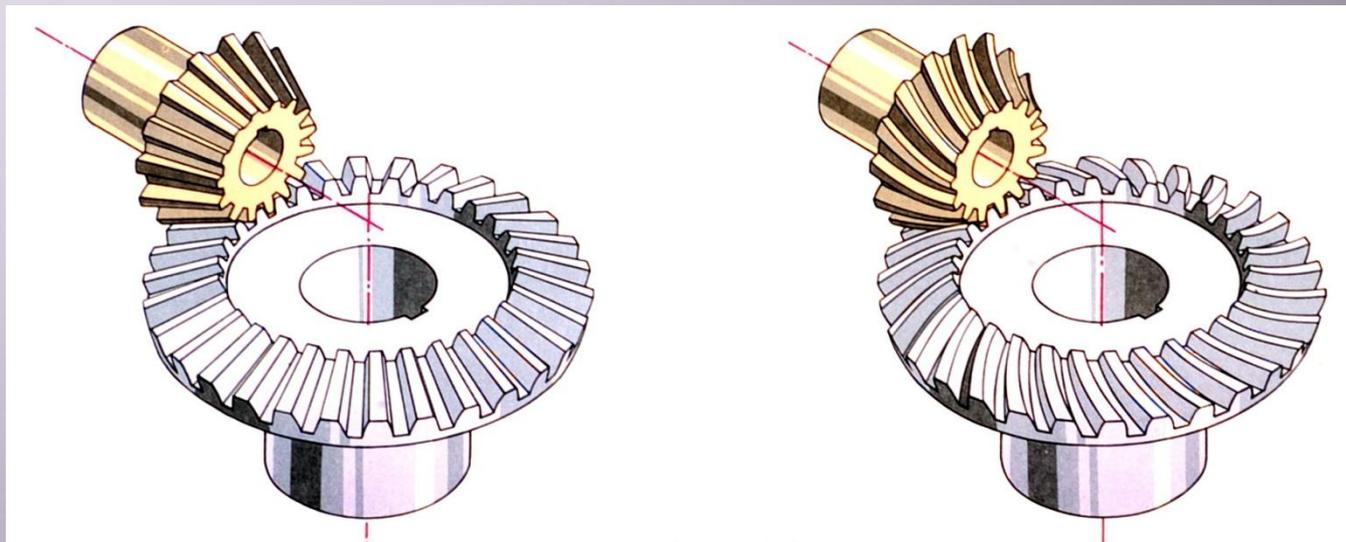
Классификация по расположению осей колес

С параллельными осями



Классификация по расположению осей колес

С пересекающимися осями

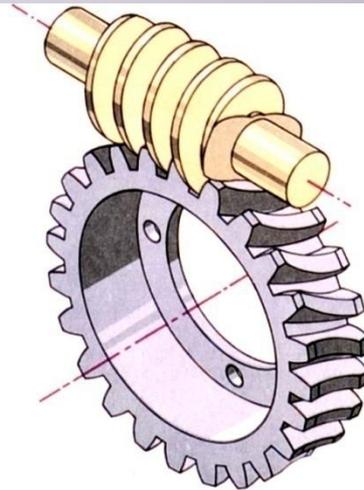


Классификация по расположению осей колес

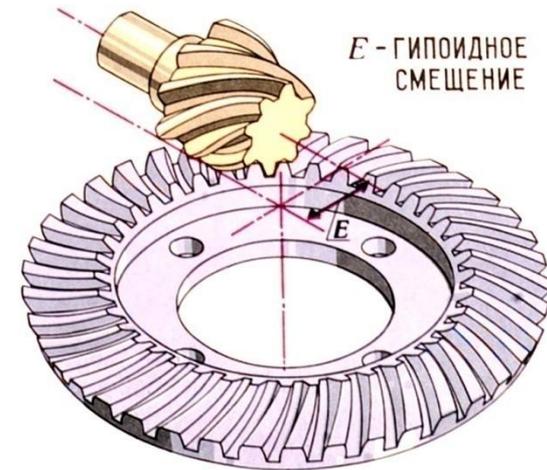
Со скрещивающимися осями



ВИНТОВАЯ

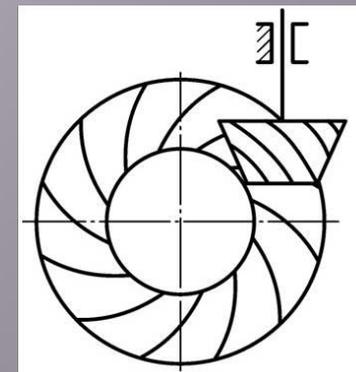
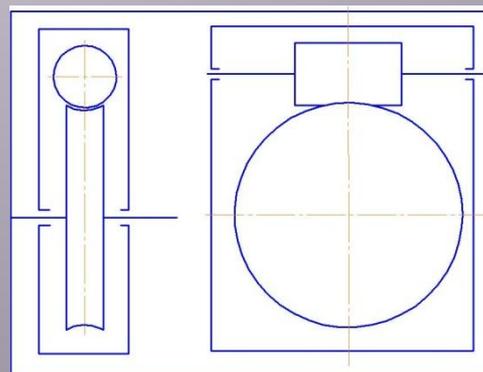
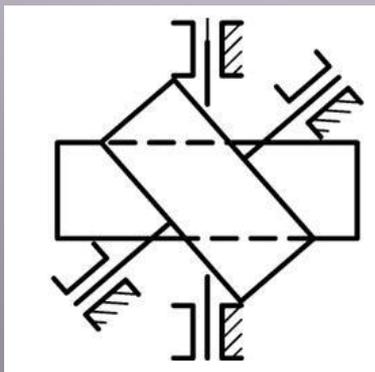


ЧЕРВЯЧНАЯ



E - ГИПОИДНОЕ
СМЕЩЕНИЕ

ГИПОИДНАЯ



Преимущества

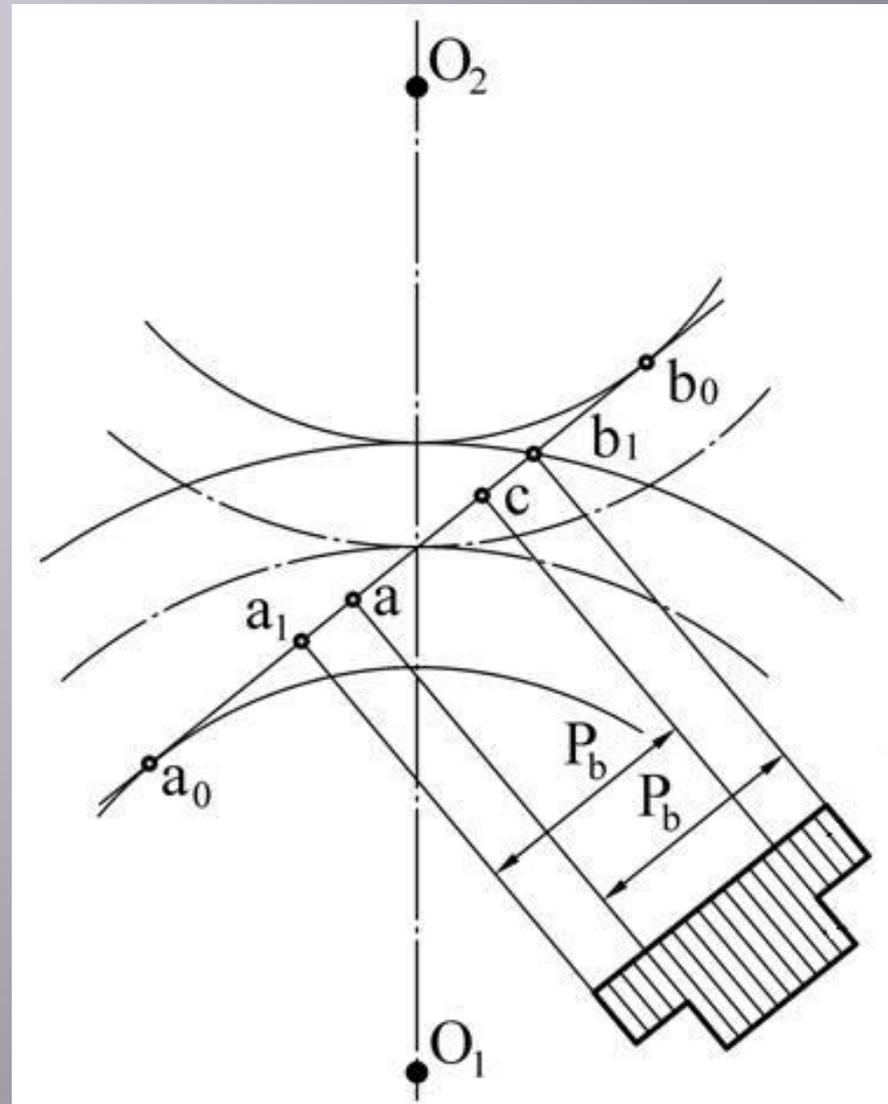
1. Высокие надежность и нагрузочная способность.
2. Достаточная долговечность.
3. Высокий КПД – до 0,99.
4. Постоянство среднего передаточного отношения.

Недостатки

1. Для производства зубчатых колес необходимы сложные оборудование и инструмент.
2. Зубчатые передачи являются источником шума, колебаний и динамических нагрузок при высоких скоростях.
3. Невозможность регулирования скорости.

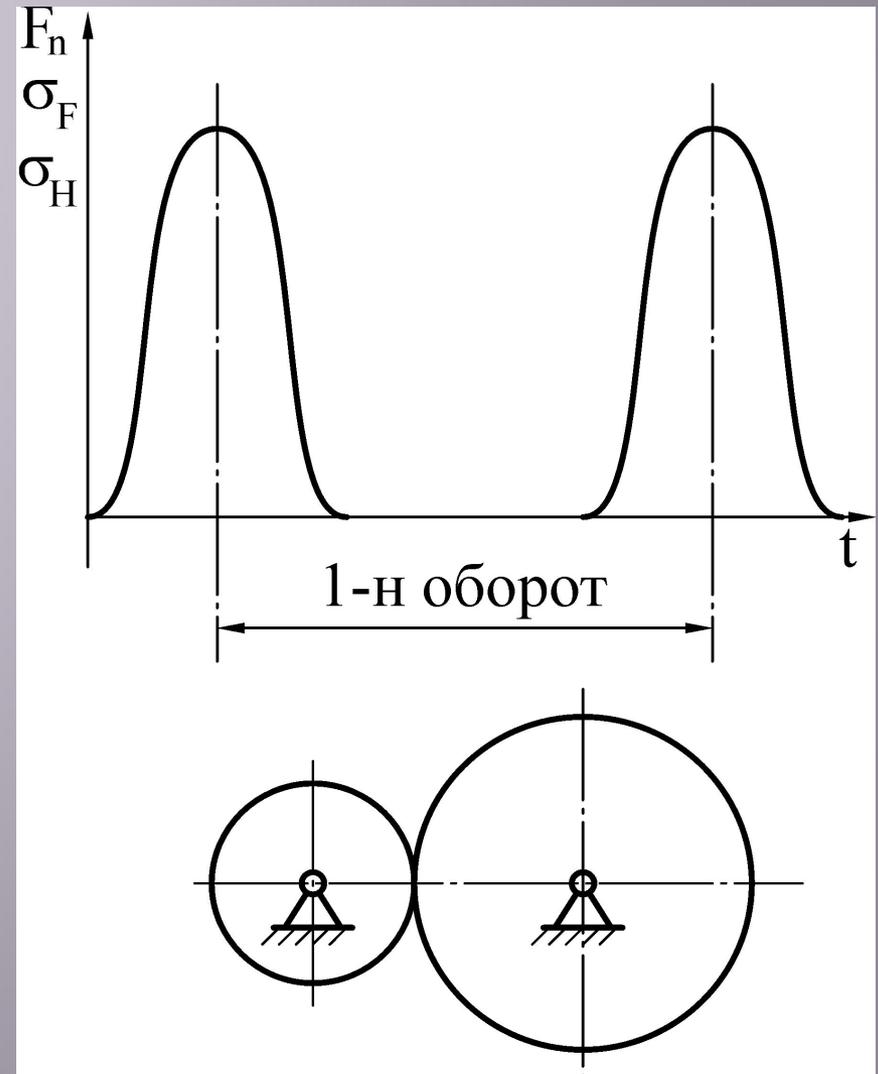
Характер работы зубьев

1. Нагрузка передается поочередно – то одной, то двумя парами зубьев.



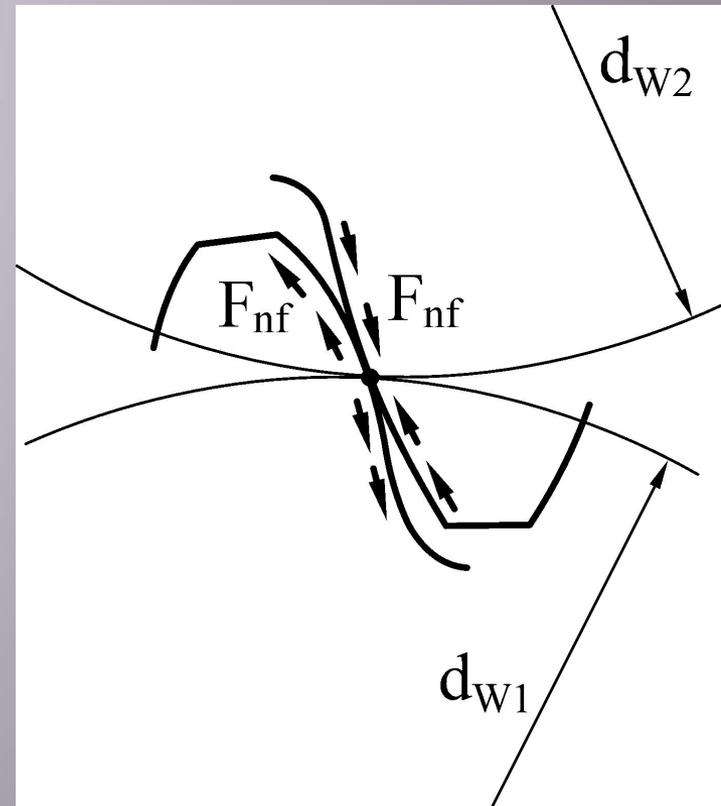
Характер работы зубьев

2. Действующие на зубья силы и возникающие в них напряжения являются переменными.



Характер работы зубьев

3. Действующие на зубья силы приводят к появлению контактных и изгибных напряжений. Сила трения существует, но при расчётах ею пренебрегают.



Характер работы зубьев

4. Кроме полезной нагрузки, зацепление подвержено воздействию:

- внешней динамической нагрузки от неравномерности нагружения и/или привода;
- внутренней динамической нагрузки, вызванной неточностью изготовления и перекосом валов.

Виды повреждений зубьев

Остаточная деформация

- Внедрение
- Пластическая деформация
- Рябь
- Образование гребней и вмятин

Контактная усталость

- Макро(микро)выкрашивание
- шлифовочные
- Глубинное усталостное выкрашивание

Возникновение и развитие трещин

- От термообработки
- Шлифовочные
- Усталостные
- Трещины обода и диска

Виды повреждений зубьев

Остаточная деформация

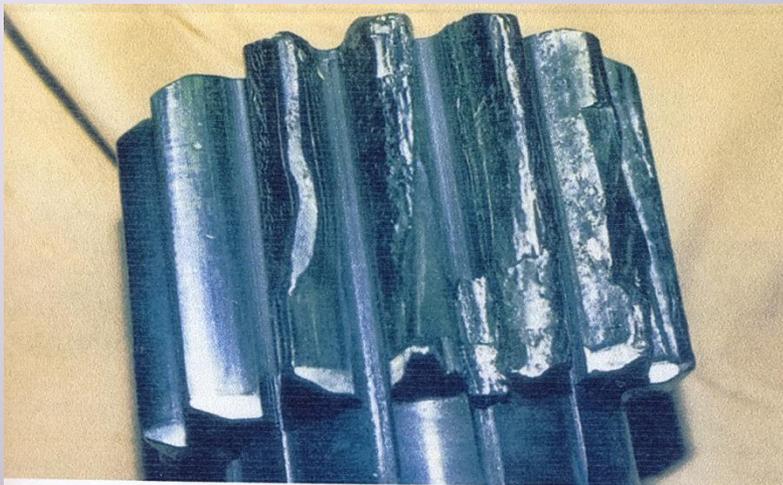
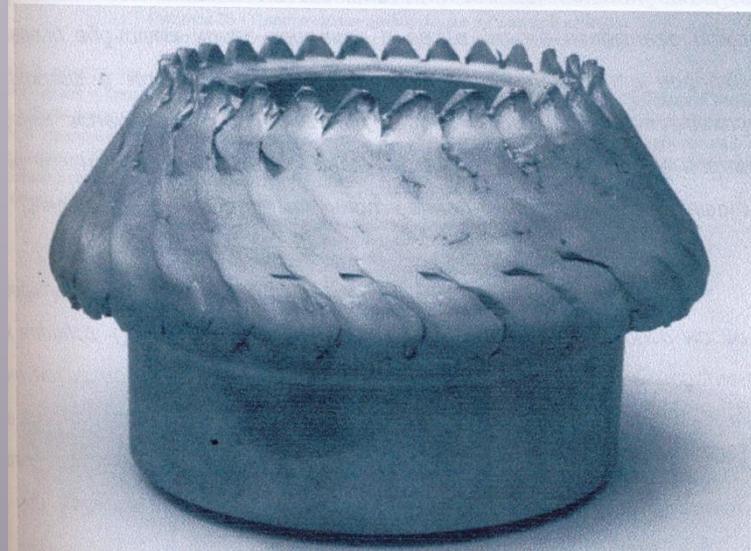
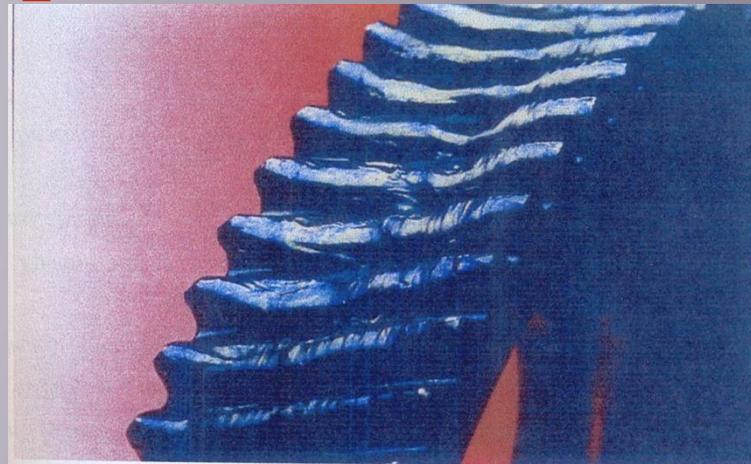
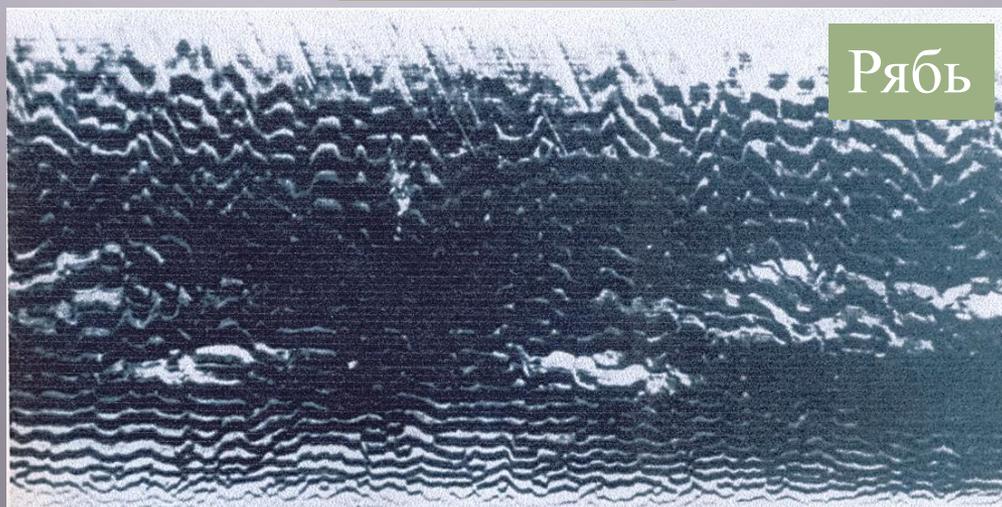


Рисунок 33 - Катастрофическое внедрение

Внедрение



Пластическая деформация



Рябь

Виды повреждений зубьев

Контактная усталость

Повреждения, развивающиеся под действием поверхностных и подповерхностных напряжений, многократно возникающих в процессе контактного взаимодействия зубьев.



сунок 46 - Примеры прогрессирующего поверхностного выкрашивания



сунок 43 - Усталостное выкрашивание. Образование трещин и отслаивание фрагментов поверхности, вызванные действием циклических контактных напряжений

Прогрессирующее поверхностное
выкрашивание

Усталостное
выкрашивание

Виды повреждений зубьев

Возникновение и развитие трещин

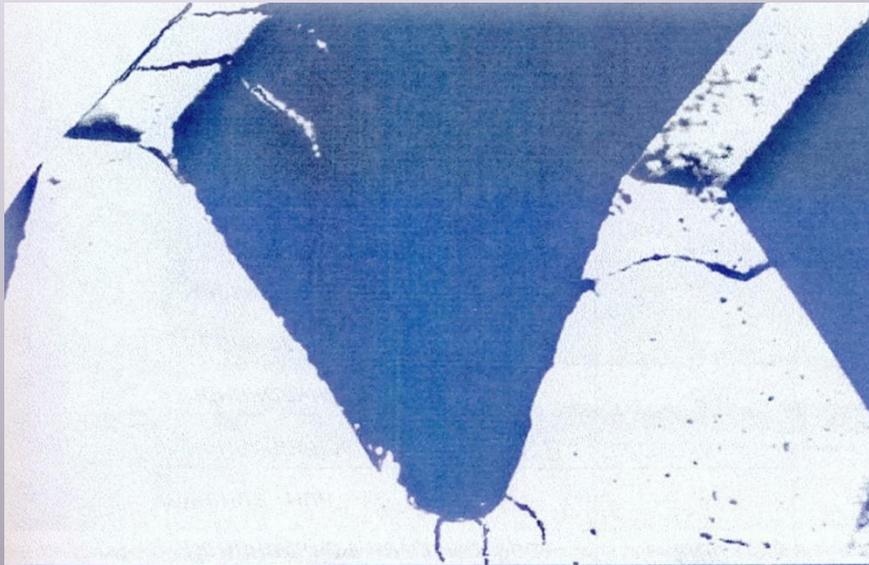


Рисунок 52 - Трещины от термообработки

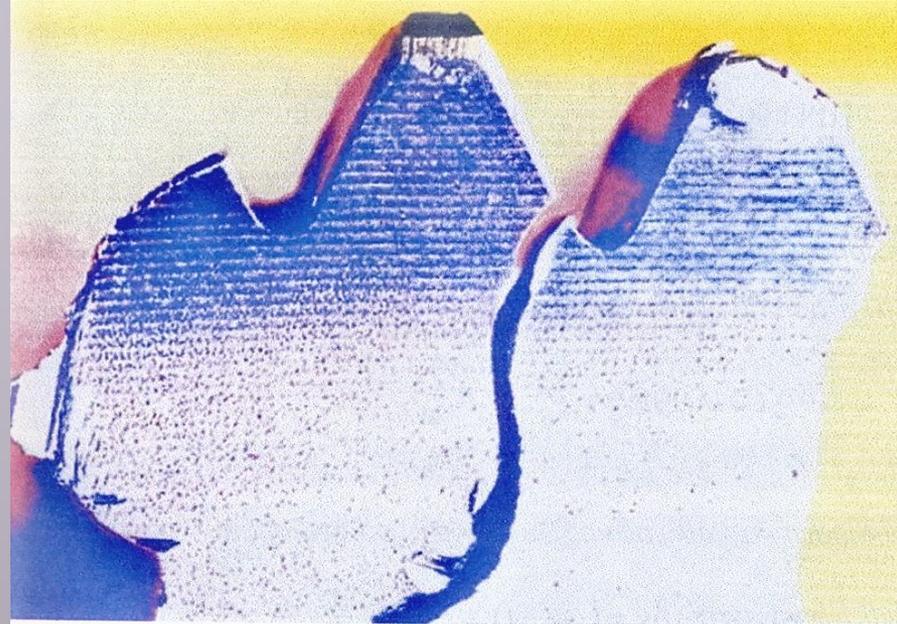


Рисунок 54 - Трещины обода и диска колеса

Виды повреждений зубьев

Изнашивание

Механическое

- Адгезионное
- Абразивное
- При взаимном внедрении зубьев
- Усталостное

Коррозионно-механическое

- Химическое
- При фреттинг-коррозии

Эрозионное

- Кавитационное
- Электроэрозионное
- Гидро(газо)эрозионное

Виды повреждений зубьев

Изнашивание

Изменение поверхности зубьев, включающее удаление или перемещение материала с взаимодействующих поверхностей при механическом, химическом или внешнем воздействии.



Рисунок 13 - Предельное изнашивание, практически равноценное абразивному изнашиванию

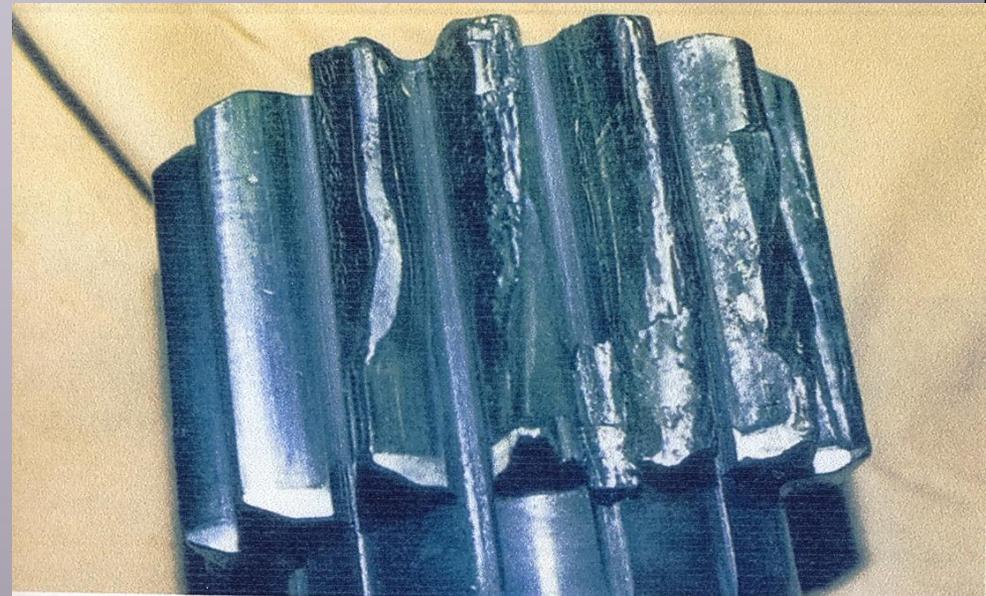


Рисунок 33 - Катастрофическое внедрение

Виды повреждений зубьев

Разрушение зуба

Излом при перегрузке

- Хрупкий
- Вязкий
- Полухрупкий

Усталостный излом зуба

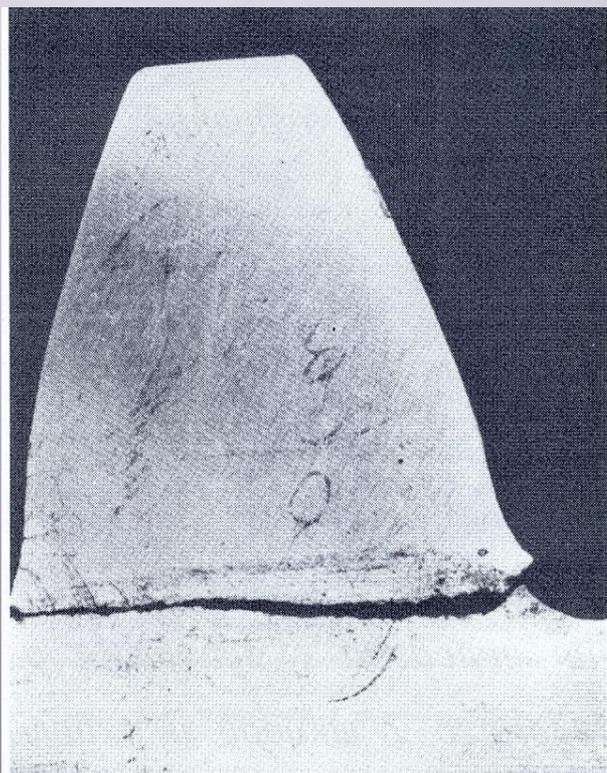
Излом после пластической деформации

Срез зуба

Виды повреждений зубьев

Разрушение зуба

Отделение от зубчатого колеса одного или нескольких зубьев или их существенных частей.



Срез

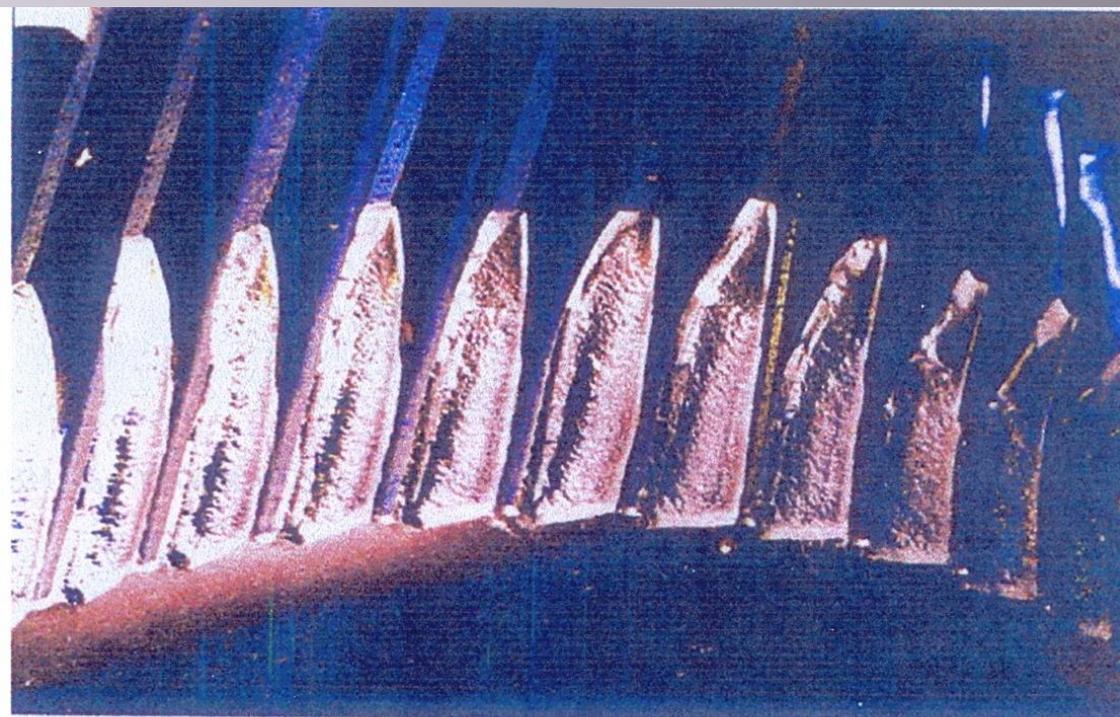


Рисунок 67 - Усталостный излом зуба при малоцикловой усталости

Усталостный
излом

Расчетная нагрузка на зубья

$$F_p = KF \quad K = K_V K_\beta K_\alpha K_A$$

K_V – коэффициент внутренней динамической нагрузки;

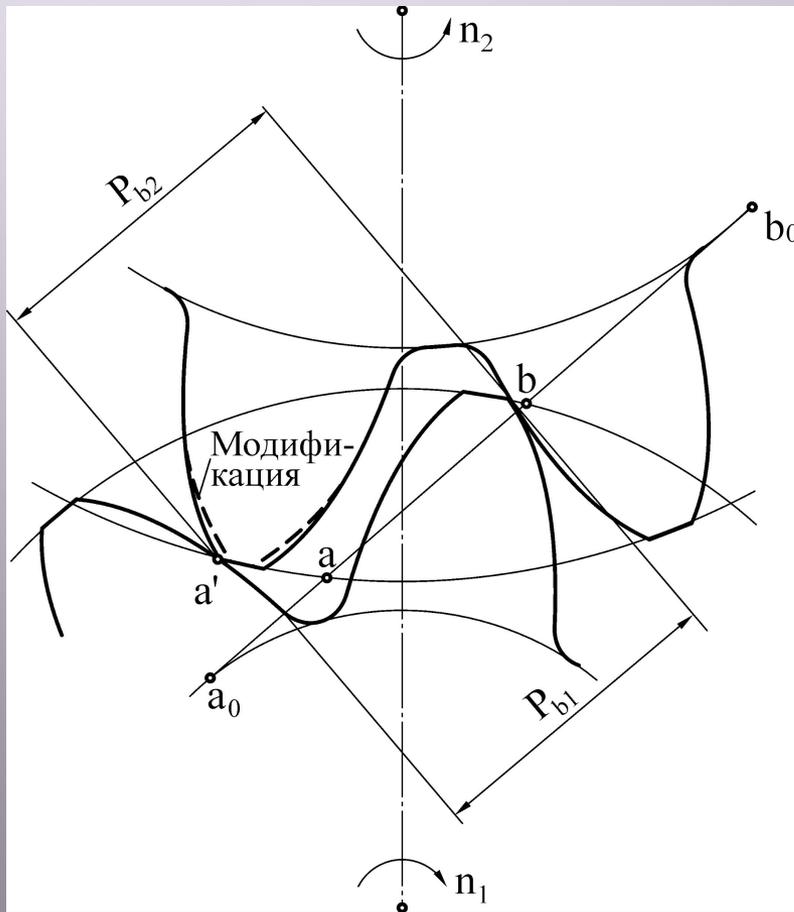
K_β – коэффициент концентрации нагрузки по длине контактной линии;

K_α – коэффициент распределения нагрузки между зубьями;

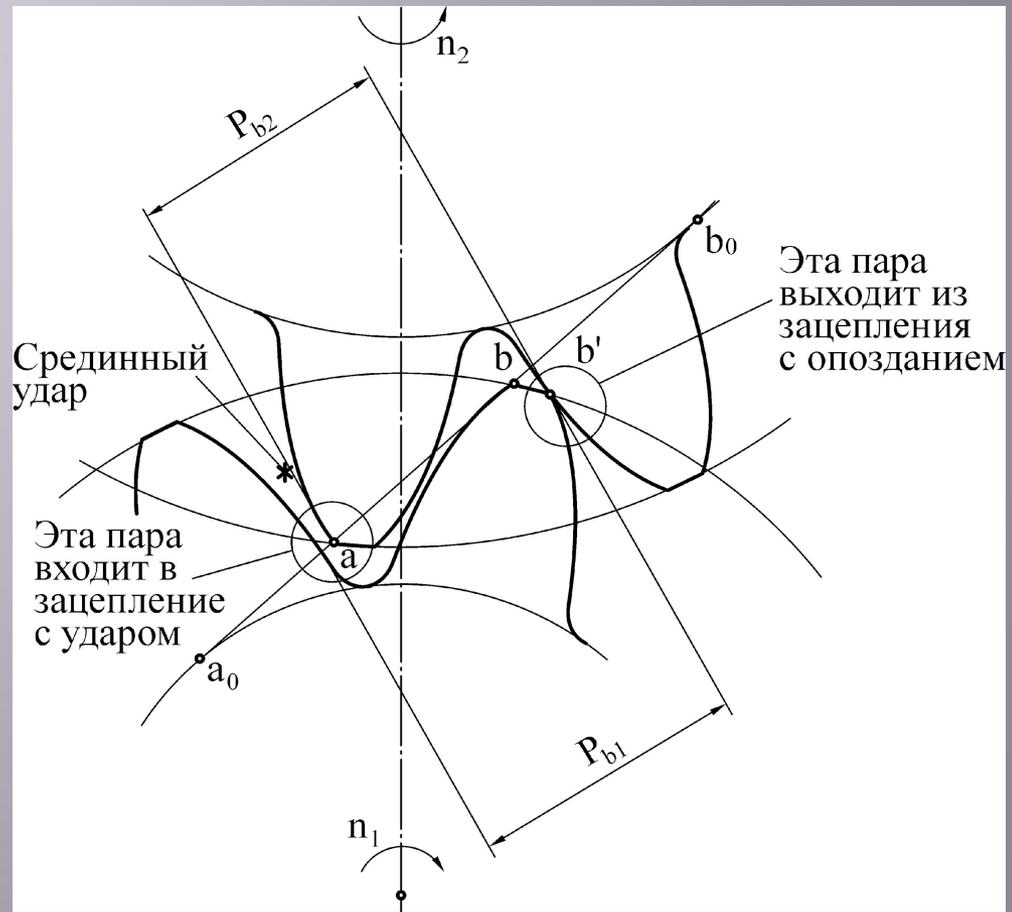
K_A – коэффициент, учитывающий внешние перегрузки.

Расчетная нагрузка на зубья:

K_v – коэффициент внутренней динамической нагрузки



$$P_{e2} > P_{e1}$$



$$P_{e2} < P_{e1}$$

Расчетная нагрузка на зубья:

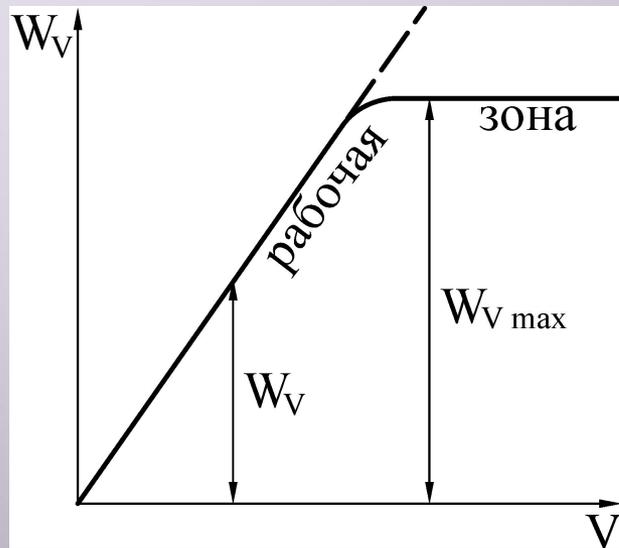
K_v – коэффициент внутренней динамической нагрузки

При $VZ_1 < 1000$ $K_v = 1 + \frac{W_v b_w}{F_t}$ $W_v = \frac{F_v}{b_w} = \delta g_0 V \sqrt{\frac{a_w}{u}}$

Твердость	Вид зубьев	δ
> 350НВ	Прямые без модификации головки	0,014
> 350НВ	Прямые с модификацией головки	0,01

Модуль , мм	g_0		
	Степень точности		
	5	6	7
3,55...10	31	41	53

Расчетная нагрузка на зубья: K_v – коэффициент внутренней динамической нагрузки

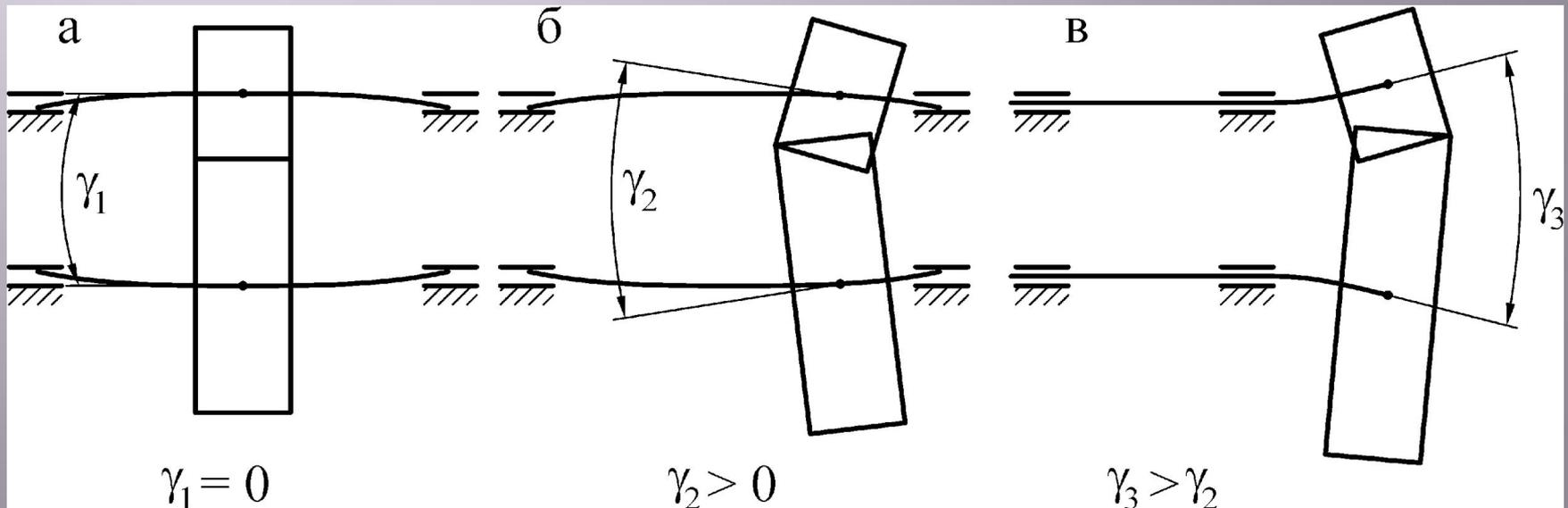


1. Если расчётное значение удельной силы больше максимального, в расчёте используют максимальное.
2. Различают K_{HV} и K_{FV} .

Модуль , мм	$W_{v\ max}$		
	Степень точности		
	5	6	7
3,55...10	85	160	240

Расчетная нагрузка на зубья: K_β – коэффициент концентрации нагрузки по длине контактной линии

1. Концентрация нагрузки возникает вследствие деформации валов, опор, корпусов и самих зубчатых колес.
2. Различают $K_{H\beta}$ и $K_{F\beta}$.

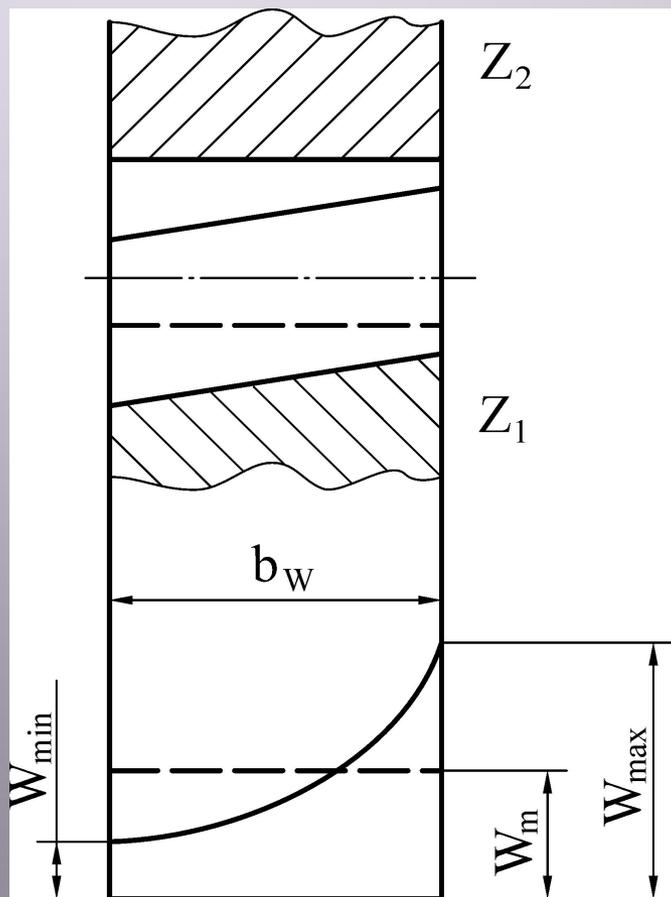


симметричное

несимметричное

консольное

Расчетная нагрузка на зубья: K_β – коэффициент концентрации нагрузки по длине контактной линии



$$K_\beta = \frac{W_{max}}{W_m}$$

$$K_{H\beta} = 1 + (K_{H\beta}^0 - 1)K_{HW}$$

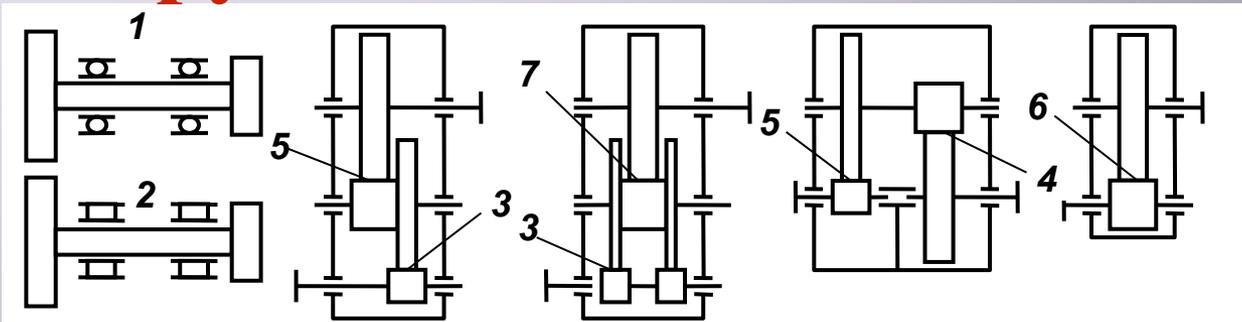
$$K_{F\beta} = (K_{H\beta})^{N_F}$$

$$N_F = \frac{(b_w / h)^2}{(b_w / h)^2 + (b_w / h) + 1}$$

Расчетная нагрузка на зубья:

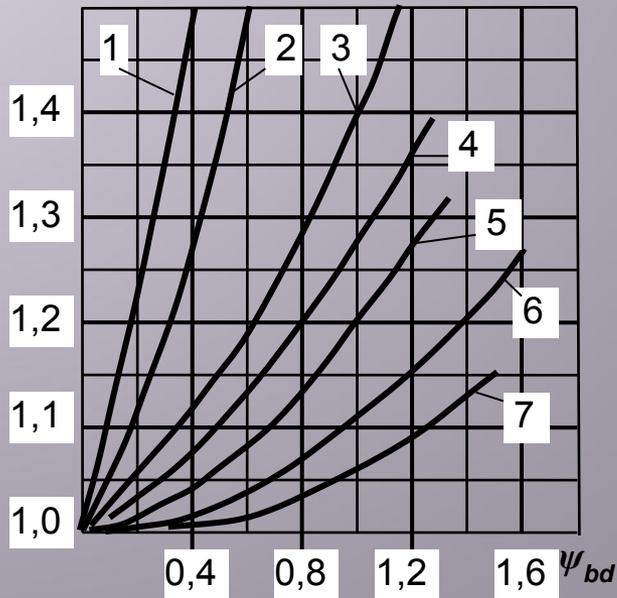
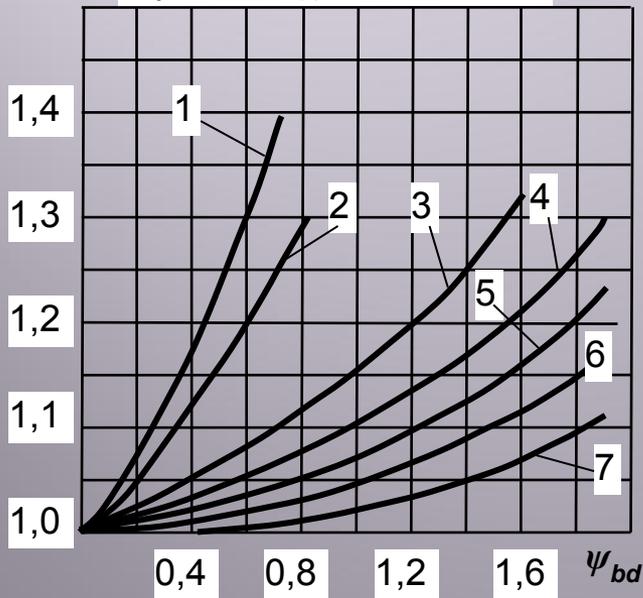
K_β – коэффициент концентрации

нагрузки по длине контактной линии



$K_{H\beta}$ при $H_{1(2)} \leq HB350$

$K_{H\beta}$ при $H_{1(2)} \geq HB350$



$$\psi_m = \frac{b_W}{m} \leq 15$$

В общем машиностроении

$$\psi_{bd} = \frac{b_W}{d_{W1}} = 0,4 \dots 0,9$$

В авиации

$$\psi_{bd} = 0,2 \dots 0,5$$

Расчетная нагрузка на зубья:

K_α – коэффициент распределения нагрузки между зубьями

Учитывает влияние ошибок изготовления зубьев на их нагрузку.

Для точных зубчатых передач 5-й степени и выше

$$K_\alpha = 1$$

Для степеней 5-9 ,

$$K_\alpha = 1 + 0,06(n_{СТ} - 5)$$

где $n_{СТ}$ – степень точности. Принимают

$$K_{H\alpha} = K_{F\alpha}$$

Расчетная нагрузка на зубья:

K_A – коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку

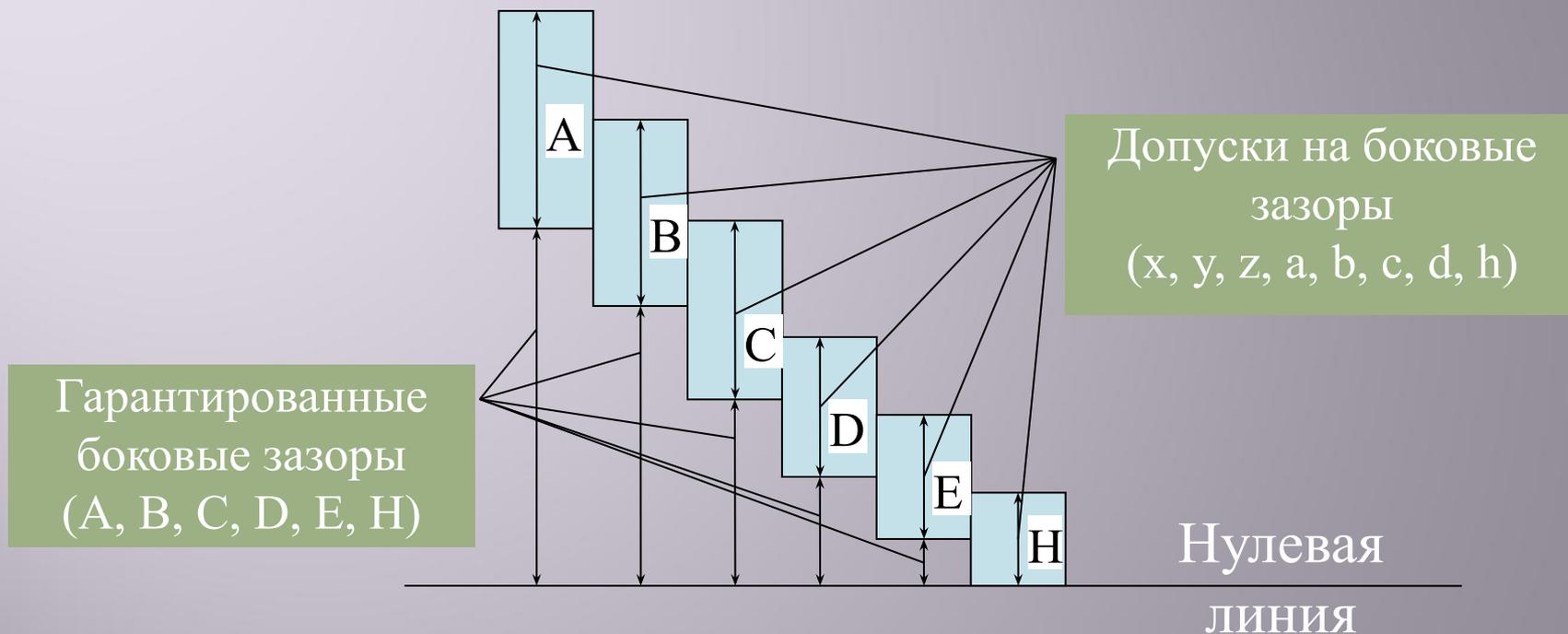
Режим нагружения двигателя	Режим нагружения ведомой машины			
	Равномерный	С малой неравномерностью	Со средней неравномерностью	Со значительной неравномерностью
Равномерный	1,00	1,25	1,50	1,75
С малой неравномерностью	1,10	1,35	1,60	1,85
Со средней неравномерностью	1,25	1,50	1,75	2,00 и выше
Со значительной неравномерностью	1,50	1,75	2,00	2,25 и выше

При заданной циклограмме нагружения или типовом режиме нагружения принимают $K_A = 1$

Точность зубчатых передач

Норма	Что регламентирует	Что контролируют
Кинематической точности (НКТ)	параметры, погрешности которых приводят к ошибке угла поворота колеса за один оборот	радиальное биение зубчатого венца, колебание межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса и др.
плавности (НПл)	многократно повторяющиеся за один оборот колеса ошибки шага и профиля	колебание измеренного межосевого расстояния на одном зубе, ошибку профиля зуба и др.
контакта (НПт)	минимально допустимое пятно контакта зубьев и его расположение	ошибки направления зуба, формы и расположения контактной линии, суммарное пятно контакта и др.

Точность зубчатых передач



Независимо от норм точности предусмотрены виды сопряжения, включающие нормы бокового зазора между неработающими поверхностями зубьев и допуски на эти размеры.

Точность зубчатых передач

Обозначение:

НКТ – НПл – НПт – Зазор допуск ГОСТ 1643-81

Примеры:

8-7-6-B a ГОСТ 1643-81

8-N-6-D ГОСТ 1643-81

7-B ГОСТ 1643-81