

Министерство образования и науки Самарской области

государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Самарской области «Усольский сельскохозяйственный техникум»

Дисциплина ОПД 02 Техническая механика

Курс 2 группа 21 м

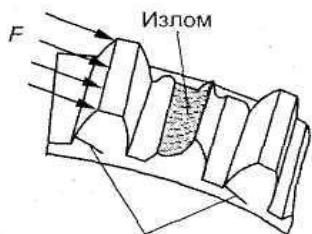
Преподаватель Евдокимов В.Н evdokimov412@yandex.ru

Урок № 81 - 82 Дата 24.03.2020 г

Тема: Виды разрушений зубьев и критерии работоспособности зубчатых колес. Материалы зубчатых колес. Допускаемые напряжения.

Правильно спроектированная и изготовленная передача при выполнении всех правил эксплуатации не должна перегреваться и производить при работе сильного шума. ***Появление значительного перегрева и чрезмерного шума свидетельствует о недостатках в работе передачи,*** связанных с ее конструкцией, изготовлением, неправильным выбором смазочного материала или возможными повреждениями зубьев. Наблюдаются следующие виды разрушения зубьев: пластическая деформация рабочих поверхностей, их поломка, изнашивание, заедание, выкрашивание рабочих поверхностей.

Поломка зубьев. Этот вид разрушения зубьев полностью выводит передачу из строя. Чаще поломка наблюдается у основания зуба (рис.1) вследствие периодического действия переменной нагрузки F , имеющей от нулевой, пульсирующий характер, а также в результате значительной кратковременной перегрузки (ударной нагрузки). Если зуб работает одной стороной, то первоначальная трещина, как правило, образуется в зоне растяжения. Трещина распространяется вдоль основания ножки зуба, а иногда к его вершине или по какой-то рабочей части зуба.



Трещины

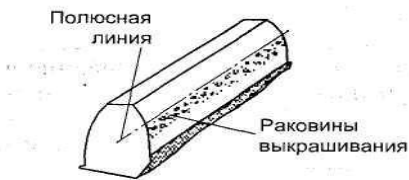
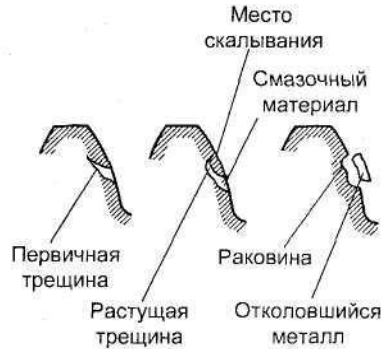
Рис. 1. Виды разрушений зубьев. Излом зуба

Излом зуба может привести к весьма тяжким последствиям вплоть до разрушения валов и подшипников, а иногда и всего механизма. Для

предупреждения излома проводится расчёт зуба по напряжениям изгиба. Такой расчёт для закрытых передач выполняется в качестве проверочного после расчёта на контактные напряжения. Для открытых передач, где высока вероятность случайных перегрузок, этот расчёт выполняется как проектировочный.

Долговечность зубьев можно повысить, увеличив прочность основания зуба и уменьшив концентрацию напряжений в опасном сечении, увеличив модуль передачи.

Выкрашивание рабочих поверхностей зубьев. Этот вид повреждения зубьев является наиболее серьёзным и распространённым дефектом поверхности зубьев даже для закрытых хорошо смазываемых и защищённых от загрязнения передач и нарушает нормальную работу всей передачи, но не выводит ее из строя полностью. Чаще это повреждение наблюдается в закрытых передачах, работающих при обилии смазочного материала. Выкрашивание носит усталостный характер и вызвано контактными напряжениями, которые изменяются по отнулевому пульсирующему циклу. Выкрашивание приводит к повышению контактного давления и нарушению работы передачи. В открытых передачах поверхностные слои истираются раньше, чем в них появляются усталостные трещины, поэтому выкрашивание появляется весьма редко. Выкрашивание поверхности зубьев возникает на ножках зубьев колес вблизи полюсной линии (рис.2). Смазочный материал, который заходит в микротрещины, находясь под действием внешнего давления (при работе передачи), расклинивает трещины. Повторяясь, такие действия приводят к откалыванию части металла (рис.3). Диаметр ямок выкрашивания (оспинок) доходит до 2-5 мм. Установлено, что чем тверже поверхности зубьев и чем меньше шероховатость их поверхностей, тем большую нагрузку они могут выдерживать без опасности возникновения выкрашивания. Более вязкой масло способно лучше гасить динамические нагрузки на зубья и тем самым уменьшать выкрашивание поверхности зубьев. Для предупреждения выкрашивания необходимо повышать твёрдость материала термообработкой либо повышать степень точности передачи, а также правильно назначать размеры из расчёта на усталость по контактным напряжениям.

 Полюсная линия Раковины выкрашивания	 Место скалывания Смазочный материал Первичная трещина Растущая трещина Раковина Отколовшийся металл
Рис.2. Виды разрушений зубьев. Усталостное выкрашивание	Рис. 3. Процесс образования усталостных раковин в закрытой передаче

В открытых передачах выкрашивание наблюдается очень редко, так как поверхностный слой, в котором возникают начальные трещины, истирается раньше, чем в нем успевают произойти усталостное выкрашивание.

Изнашивание зубьев чаще наблюдается в открытых передачах, чем в закрытых, заключается в истирании рабочих поверхностей (рис. 4) вследствие попадания в зону зацепления металлических частиц, пыли, грязи (абразивное изнашивание). Встречается также и в закрытых передачах, но находящихся в засорённой среде: в горных, дорожных, строительных, транспортных машинах. Является основной причиной выхода из строя передач при плохой смазке.

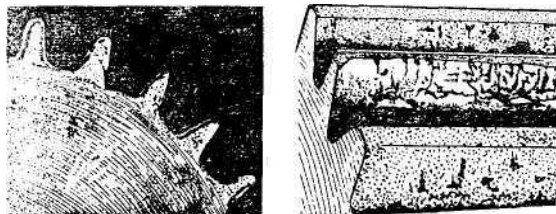


Рис. 4. Процесс изнашивания зубьев в открытых передачах

Изнашивание может начаться также в результате недостаточно гладкой поверхности у новой передачи и продолжаться до сглаживания неровностей рабочих поверхностей зубьев. У изношенных передач повышаются зазоры в зацеплении и, как следствие, усиливаются шум, вибрация, динамические перегрузки; искажается форма зуба; уменьшаются размеры поперечного сечения, а значит и прочность зуба. Основные меры предупреждения износа – повышение твёрдости поверхности зубьев, защита от загрязнения, применение специальных масел. В расчёте на контактную выносливость абразивный износ учитывается занижением допускаемых контактных напряжений.

Заедание зубьев. Наблюдается как в открытых, так и в закрытых высокоскоростных, тяжело нагруженных передачах.

Этот вид повреждения зубьев заключается в том, что под действием высоких давлений сопряженные поверхности зубьев сцепляются одна с другой настолько сильно, что частицы металла с поверхности зубьев в зоне раздавленной масляной пленки отрываются и прихватываются к поверхности зубьев парного колеса; при последующем относительном движении зубьев эти частицы отрываются и делают на рабочих поверхностях борозды и задиры. Меры предупреждения здесь те же, что и при абразивном износе. Рекомендуются также фланкирование зубьев, правильный выбор сорта масла и его охлаждение.

Правильно спроектированные передачи должны быть рассчитаны так, чтобы любая из возможных причин повреждения зубьев была исключена. Общепринятой методики расчета зубьев на изнашивание и заедание в

настоящее время нет. Все передачи рассчитывают одинаково по контактным напряжениям. Однако иногда открытые передачи рассчитывают только на изгиб по той причине, что у них в меньшей степени наблюдается явление выкрашивания зубьев. Эти передачи масляной ванны не имеют, поэтому меньше подвержены выкрашиванию поверхности зубьев.

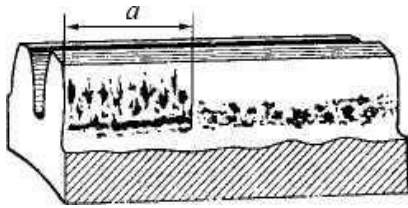


Рис. 5

Усталостное выкрашивание, абразивный износ и заедание обусловлены поверхностной прочностью, а излом – объёмной прочностью зубьев. Поскольку поверхностные повреждения – главный вид поломок для закрытых передач, то расчёт на контактную выносливость выполняют в качестве проекторочного; расчёт на изгиб – в качестве проверочного. Для открытых передач всё наоборот, т.к. режим работы временный или даже разовый, а перегрузки значительные.

1. Материалы зубчатых колес

Основным материалом для изготовления зубчатых колес силовых передач служит термически обработанная сталь.

В табл.1.1 приведены механические характеристики некоторых марок сталей, применяемых для изготовления зубчатых колес.

В зависимости от твердости рабочих поверхностей зубьев после термообработки зубчатые колеса можно условно разделить на две группы:

1. 350НВ – нормализованные, улучшенные; $\leq$ с твердостью

350НВ – закаленные, цементированные, цианированные, азотированные. $>6)$ с твердостью

350НВ) среднюю твердость рабочей поверхности зубьев шестерни $HV \leq$ Механические свойства материалов шестерни и колеса должны быть взаимно увязаны. Зубья шестерни испытывают за одинаковое время большее число нагружений, чем зубья колеса, поэтому материал шестерни должен иметь более высокий предел выносливости, чем материал колеса. Для зубчатых колес с прямыми зубьями (при твердости $1_{ср}$ для ускорения прирабатываемости и выравнивания долговечности обоих колес рекомендуют назначать больше твердости зубьев колеса не менее, чем на (10...15)НВ:

$$HB_{1cp} HB_{2cp} + (10 \dots 15) HB.$$

Для зубчатых колес с непрямыми зубьями твердость рабочих поверхностей зубьев шестерни желательно возможно большая:

$$HB_{1cp} - HB_{2cp} 100 HB. \geq$$

350HB) поверхностями зубьев обоих зубчатых колес обеспечивать разность твердостей зубьев шестерни и колеса не требуется.>Для не прирабатывающихся зубчатых передач с твердыми (твердость

При поверхностной термической обработке зубьев механические характеристики сердцевины зуба определяются предшествующей термической обработкой.

Таблица 1.1 Марки сталей для зубчатых колес, виды их

термообработки и механические характеристики

Марка стали, ГОСТ	Термо- обра- ботка	Твердость		Предел		Базовый предел выносливости		Базов. число цикло в	№
				прочн	текуч.				
		HB	HRC э	σ_B МПа	σ_T МПа	$\sigma_H \lim$ б МПа	$\sigma_F \lim$ б МПа	N_{HO}	
45 1050- 88	Норм. Улуч. Закалка ТВЧ.	170-	-	600	340	450	350	10^7	1
		217	-	750	450	500	390	10^7	2
		192-	40-50	800	450	960	550	$6 \cdot 10^7$	3
		240 -							
40X 4543- 71	Улуч. Закалка ТВЧ.	230-	-	850	550	560	440	$12 \cdot 10^6$	4
		260 -	40-50	900	750	960	600	$6 \cdot 10^7$	5
40X H 4543- 71	Улуч. Закалка ТВЧ.	230-	-	850	600	600	480	$15 \cdot 10^6$	6
		300 -	48-50	900	700	1000	650	$8 \cdot 10^7$	7
40XH MA 4543-	Улуч. Закалка ТВЧ.	300-	-	1000	800	690	560	$26 \cdot 10^6$	8
		320 -	48-54	1000	800	1000	690	$8 \cdot 10^7$	9

71									
20Х 4543- 71	Цемен- тация	-	56-63	650	400	1350	500	$12 \cdot 10^7$	10
25ХГ Т 4543- 71	Цемен- тация	-	58-63	1150	950	1380	750	$12 \cdot 10^7$	11
35Л 977- 88	Норм.	140- 180	-	550	320	390	290	10^7	12
55Л 877- 88	Норм.	170- 217	-	600	350	450	350	10^7	13

3. Допускаемые напряжения для зубчатых передач при их расчете на выносливость

Большинство зубчатых передач относится к длительно работающим, у которых число циклов перемены напряжений N больше базового числа циклов N_0 . Расчетное число циклов перемены напряжений:

$$N = 60ntc,$$

где n – частота вращения колеса, для которого определяют допускаемые напряжения, мин^{-1} ;

t – число часов работы передачи за расчетный срок службы;

c – число зацеплений зуба за один оборот колеса (оно равно числу зубьев, находящихся в зацеплении с рассчитываемым).

У кратковременно работающих передач $N < N_0$.

Приближенные значения базовых чисел циклов перемены контактных напряжений для различных сталей $N_{но}$ приведены в таблице 1.1. При определении допускаемых напряжений изгиба базовое число циклов рекомендуется принимать $N_{FO} 10^6 = 4^6$ для всех сталей.

Допускаемое контактное напряжение:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim_b}}{S_H} K_{HL},$$

где $\sigma_{H \lim_b}$ – базовый предел контактной выносливости поверхностей зубьев (табл. 1.1);

S_H – коэффициент безопасности – рекомендуется $S_H=1,1$ при нормализации, улучшении или объемной закалке зубьев (однородная структура по объему); $S_H=1,2$ при поверхностной закалке, цементации азотировании (неоднородная структура по объему);

K_{HL} – коэффициент долговечности. Для длительно работающих передач $K_{HL}=1$; для кратковременно работающих передач

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_H}}.$$

Если окажется, что $K_{HL} < 2,4$, следует принять $K_{HL} = 2,4$.

σ [При небольшой разности твердости зубьев шестерни и колеса (прямозубые передачи) за расчетное принимается меньшее из двух допускаемых напряжений, определенных по материалу шестерни $[\sigma]_1$ и колеса $[\sigma]_2$. Для передач с непрямыми зубьями, если твердость зубьев шестерни значительно выше твердости зубьев колеса (на 100 и более единиц по шкале Бринеля), то в качестве расчетного принимают среднее из $[\sigma]_1$ и $[\sigma]_2$, но не более $1,25[\sigma]_2$ для цилиндрических и $1,15[\sigma]_2$ для конических передач:

$$[\sigma_H] = \frac{[\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}]}{2} \leq \begin{cases} 1,25 [\sigma_{H2}] & \text{цилиндрические} \\ 1,15 [\sigma_{H2}] & \text{конические.} \end{cases}$$

Допускаемые напряжения изгиба:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim_b}}{S_F} K_{FC} K_{FL},$$

где $\sigma_{F \lim_b}$ – базовый предел выносливости по излому от напряжений изгиба (таблица I.1);

S_F – коэффициент безопасности; рекомендуют $S_F = 1,7 \dots 2,2$ – верхние значения для литых заготовок;

K_{FC} — коэффициент, учитывающий влияние двухстороннего приложения нагрузки (например, реверсивные передачи);

$K_{FC} = 1$ – односторонняя нагрузка; $K_{FC} \geq 0,8 \dots 0,7$ – двусторонняя нагрузка (больше значения при твердости

K_{FL} — коэффициент долговечности.

$$350 \leq \text{При HB} \quad K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N}} \leq 2 \quad ; \quad \text{при HB} > 350 - K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N}} \leq 1,6$$

Для длительно работающих передач $K_{FL} = 1$.

При переменном режиме нагрузки расчет коэффициентов долговечности выполняют по эквивалентным числам циклов N_{HE} и N_{FE}

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}, \quad K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \quad \text{или} \quad K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}}.$$

При расчете на контактную выносливость

$$N_{HE} = 60 \text{ с} \sum \left(\frac{T_i}{T_1} \right)^3 n_i t_i.$$

При расчете на выносливость по напряжениям изгиба

$$N_{FE} = 60 \text{ с} \sum \left(\frac{T_i}{T_1} \right)^m n_i t_i,$$

где $m = 6$ – для нормализованных и улучшенных сталей ;

$350 \text{ HB}; m = 9$ – для сталей с твердостью

T_1 — максимальный крутящий момент, по которому рассчитывается передача;

i — число режимов нагрузки;

T_i, n_i, t_i — соответственно крутящий момент, частота вращения, время работы в часах для i -го режима нагрузки.

При определении N_{HE} и N_{FE} 10-кратковременные нагрузки (например, пусковые или случайные) не учитывают. Принято не учитывать также перегрузки, при которых число циклов перемены напряжений за полный срок службы меньше 5^4 .

Контрольные вопросы:

1. Что такое усталостное выкрашивание рабочих поверхностей зубьев?
2. В каких передачах наблюдается выкрашивание зубьев и как его можно предупредить?
3. Как бороться с явлением задира в зубчатых передачах?
4. Почему все стальные зубчатые колеса в зависимости от твердости зубьев делят на две группы?
5. Какая из двух групп технологична и почему?

Задание.

Внимательно прочитать теоретический материал;

Составить краткий конспект;

Ответить на контрольные вопросы ;

Отчет прислать на электронную почту преподавателя.

