

УДК 631.3

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ХАРАКТЕР ИЗНОСА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС И ШЕСТЕРЁН

*А.В. Морозов, доктор технических наук, доцент,  
тел. 8(8422) 55-95-97 alvi.mor@mail.ru*

*А.А. Макеев, магистрант 1 курса, makeev\_san91@mail.ru  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

*С.Н. Петряков, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 8(927) 805-59-71 gsspsn@mail.ru*

*Технологический институт - филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

**Ключевые слова:** *зубчатые передачи, зубчатые колёса, шестерни, износ, долговечность, электромеханическая обработка.*

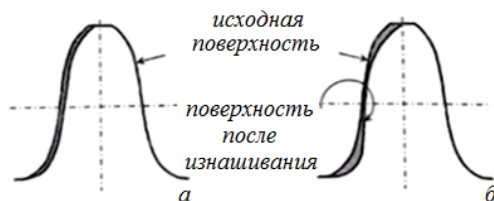
*В работе рассмотрены область применения и условия эксплуатации зубчатых передач. Рассмотрен характерный износ профиля для легко и тяжело нагруженной зубчатой пары. Обозначены факторы, влияющие на расположение изношенных областей на рабочей поверхности зуба, их форму и размеры.*

Зубчатые передачи относятся к группе самых широко распространенных в машиностроении узлов трения, определяющих долговечность механических приводов. Зубчатые колеса и шестерни применяются в механических коробках передач, раздаточных коробках, главных передачах, редукторах, дифференциалах, шестеренчатых насосах и других устройствах.

Зубья колес и шестерён зубчатых передач в процессе эксплуатации подвергаются действию больших циклически изменяющихся изгибающих и контактных напряжений. Изгибающие напряжения могут достигать предела прочности материала, а контактные напряжения - 5 ГПа. Условия работы зубьев отличаются весьма широкими интервалами изменения скоростей (0-200 м/с) и температуры. Максимальная температура рабочих поверхностей зубьев соответствует 350 °С и ограничивается термостойкостью смазочного материала, а в отдельных случаях (применение твердых смазочных материалов) кратковременное повышение температуры может достигать 500 °С. В процессе эксплуатации передач зубья могут испытывать воздействие нагрузок ударного характера. Зубчатые передачи относятся к сопряжениям с постоянно изменяющимися (за период нахождения зубьев в контакте) номинальной площадью контакта и ее координатами, давлением, толщиной масля-

ного слоя и соотношением сил трения качения и скольжения. Это определяет неравномерность износа по профилю зуба. В зависимости от режимов и условий нагружения линейная интенсивность изнашивания зубьев может различаться на 3 - 4 порядка и составляет  $10^{-6}$  -  $10^{-9}$ .

Профиль изношенной поверхности зубьев зависит от их исходной геометрии, режимов нагружения и условий смазки. Для легко нагруженной зубчатой пары с правильно выбранным исходным профилем, когда поверхности трения разделены сплошной смазочной пленкой, характерен сравнительно равномерный износ материала вдоль профиля зуба (рисунок 1, а).



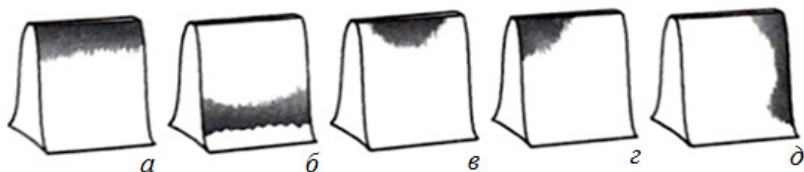
**Рисунок 1 - Профили рабочих поверхностей зубьев шестерен: а - легко нагруженной; б - тяжело нагруженной**

Для тяжело нагруженных элементов зубчатых передач характерен неравномерный износ (рисунок 1, б). Начиная от полюсной части и до вершины зуба износ монотонно увеличивается, что обусловлено ростом деформаций сдвига, пластической деформации и интенсивности усталостного разрушения материала поверхностного слоя. Максимальный износ наблюдается также на ножке зуба в околополюсной зоне, подвергаемой интенсивному усталостному разрушению и пластическому оттеснению материала к полюсной линии.

В полюсной зоне зуб изнашивается наименее интенсивно, поскольку здесь проскальзывание минимально и реализуется преимущественно трение качения. Кроме того, при высоких нагрузках и малой твердости материалов сопрягаемых тел в эту зону смещается материал, пластически оттесняемый от ножки зуба. Величина износа в полюсной зоне зависит от того, ведущим или ведомым является зубчатое колесо. На поверхности зуба ведущего колеса образуется канавка, а ведомого - гребешок. В первом случае сдвиг материала осуществляется от полюсной линии к периферии зуба, а во втором - наоборот.

Форма изношенной поверхности зуба может отличаться от описанных, в частности, при неточном изготовлении сопрягаемых зубьев, высоких скорости и температуре, а также при неправильно выполненной термической или химико-термической обработке шестерни. Например, возможно подрезание зуба вследствие концентрации давления в начале зацепления ножки зуба ведущей шестерни с головкой зуба ведомой шестерни. В этом случае на ножке зуба первой из сопрягаемых шестерен и головке зуба второй образуется узкая полоса (канавка) износа.

Расположение изношенных областей на рабочей поверхности зуба, их форма и размеры зависят от ряда факторов (рисунок 2). При параллельном расположении осей сопрягаемых шестерен и их сплошном контакте область изнашивания вытягивается по всей длине зуба. В зависимости от формы поверхности сопрягаемого зуба и уровня нагрузки, эта область может располагаться на головке в начале зацепления (рисунок 2, а) либо смещаться в направлении полюса. Область изнашивания может локализоваться также на ножке (рисунок 2, б) или (одновременно) на головке и ножке зуба.



**Рисунок 2- Расположение областей изнашивания зуба: а - на головке; б - на ножке; в - серединной области головки; г - на краю головки; д - на краю по всей высоте зуба**

В случае бочкообразной формы сопрягаемых рабочих поверхностей износ локализуется в серединной части головки зуба (рисунок 2, в). Для передач с непараллельным расположением осей вращения шестерен область износа смещается к краю зуба в зону концентрации нагрузки и располагается на головке (рисунок 2, г), ножке или на обоих участках рабочей поверхности одновременно (рисунок 2, д).

По характеру износа зубьев можно установить и оперативно устранить возможную причину провоцирующую износ.

Вместе с тем повышение долговечности зубчатых передач является важной задачей современного машиностроительного и ремонтного

производства. Одним из эффективных способов повышения долговечности зубчатых передач является применение упрочняющих технологий. Дальнейшая работа будет направлена на исследование эффективности применения процессов электромеханической обработки [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] рабочих поверхностей зубчатых колёс и шестерён с целью повышения их износостойкости и долговечности.

*Библиографический список:*

1. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой.– 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. - 200 с.
2. Морозов, А.В. Повышение послеремонтного ресурса сопряжения привода выталкивателя штампа станка ПШ-2 применением процессов электромеханической обработки / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Журнал «Научное обозрение», № 4. Москва 2012. С 230-236.
3. Федорова, Л.В. Повышение износостойкости втулки балансира трактора МТЗ-80.1 избирательной электромеханической закалкой / Л.В. Федорова, А.В. Морозов, В.А. Фрилинг // Известия ТулГУ. - Выпуск 9, 2012. С 18-21.
4. Федоров, С.К. Электромеханическая поверхностная закалка втулок трака бульдозера «KOMATSU» / С.К. Федоров, А.В. Морозов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Научный журнал, № 3. Барнаул 2013. С 102-107.
5. Морозов, А.В. Характер эксплуатационного износа гладких цилиндрических подвижных сопряжений применяемых в сельскохозяйственной технике / А.В. Морозов, В.А. Фрилинг// Материалы III Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения».- Ульяновск: УГСХА 2011. С. 271-275.
6. Морозов А.В., Горев Н.Н., Рахимов А.Н. Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей. - Патент RU № 123719. Оpubл. 10.01.2013. Бюл. № 1.
7. Морозов А.В., Байгулов А.В. Дорн. - Патент RU № 97071. Оpubл. 27.08.2010. Бюл. № 24.

## **ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS AND CHARACTER OF WEARING OF WORKING SURFACES OF GEAR WHEELS AND GEARS**

*A.V. Morozov, S.N. Petryakov, A.A. Makeev*

**Key words:** gears, wear, durability, electromechanical processing.

*The paper considers the scope and operating conditions of gears. The characteristic wear of the profile for light and heavily loaded gear pair is considered. The factors affecting the location of worn areas on the working surface of the tooth, their shape and size are indicated.*