

Н. М. ЕРЖАНОВ

**ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ
ИЗЛОМОВ ЗУБЬЕВ, РАЗРУШЕННЫХ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ
ПЛАВНОМ НАГРУЖЕНИИ**

The Modern physical methods, is executed studies of the surfaces different dog-leg profile-modified teeth teeth travell about, got when test in mode fluent round-robin loading, typical of majority of the modern machines.

The Got fractographical picture, allow to study the kinetics and mechanical engineer of the destruction, depending on type and level loading, as well as geometric parameter sample. On base of their analysis, are installed qualitative particularities dog-leg teeth, for accepted range number teeth, surface of the grappling, as well as are revealed typical micro mechanism developments of the rifts. Are considered fractographical features of surfaces of destroyed tooth of the tooth gears an asymmetrical structure exposed cyclic smooth from zero loading.

Задачей фрактографического исследования в первую очередь является идентификация разновидностей поверхностей изломов с учетом всего их многообразия в зависимости от вида нагружения (статическое, усталостное, ударно-усталостное). Затруднённость анализа поверхностей разрушения высокопрочных материалов, обладающих повышенной чувствительностью к концентрации напряжений и малым сопротивлением развитию трещины под воздействием циклического нагружения, обусловлена, с одной стороны, большим разнообразием в проявлении усталостного разрушения, с другой – недостаточным знанием закономерностей кинетики и механизма развития усталостного

повреждения в зависимости от свойств материала, способов термического упрочнения и условий нагружения.

Строение усталостных изломов, по Я. Б. Фридману [1], зависит в основном от следующих условий:

- вида нагружения в процессе зарождения и развития трещины;
- сопротивления разрушению детали, определяемого ее геометрической формой, свойствами металла и состоянием поверхности;
- воздействия внешней среды.

Основным методом определения природы и особенностей разрушения является электронная фрактография, выполняемая совместно с оптической фрактографией [2, 3].

В этой статье, микрофрактографические особенности разрушения при циклическом плавном нагружении установлены на основе анализа поверхности изломов зубьев зубчатых колес из стали 40X, подвергнутых объемной закалке, с модулем $m = 3$ мм, числом зубьев $Z = 30$, углами профилей исходного контура α - α нр: $20-24^\circ$, $20-28^\circ$ и $20-32^\circ$ при уровнях нагружения $Q = 450$ и 250 МПа.

Макрофрактографический анализ поверхностей изломов проводился визуально и с помощью оптического микроскопа МБС-09, а микрофрактографический – с помощью растровых электронных микроскоп Стереоскан S4-10 и Tesla-350.

Фрактографический анализ поверхностей изломов выполнен в отделе физических основ прочности и разрушения Института проблем прочности АН Украины (г.Киев). Направление развития магистральной трещины на представленных фотографических снимках снизу вверх. Исследуемые участки на поверхностях изломов (T_1 , T_2 , T_3) выбирались в определенных зонах: очаги усталостного разрушения; зона зарождения (медленного роста) усталостной трещины; зона стабильного роста усталостной трещины; зона долома. Участок T_1 – сторона, испытывающая действие

растягивающих, а участок T_3 – сжимающих напряжений в зубе. Участок излома T_2 , расположен в окрестностях нейтральной оси сечения зуба.

Макроскопической особенностью разрушения зубьев при низких уровнях циклического плавного нагружения является образование многоочагового усталостного разрушения в виде вертикальных ступенек различной ширины и протяженности, совпадающих с направлением развития магистральной трещины. При увеличении уровня циклического плавного нагружения усталостное разрушение приобретает моноочаговый характер. Очаги усталостного разрушения имеют значительно выраженную рельефность поверхности, обусловленную тем, что усталостная трещина развивается в узком приповерхностном слое между термоупрочненным и неупрочненным слоями материала, т.е. в «подкорковой» зоне. С ростом уровня нагружения отмечено увеличение площади зоны долома.

В зоне зарождения усталостной трещины, подвергавшейся действию циклических напряжений растяжения, формирование микрорельефа поверхности разрушения происходило в основном по классическому механизму внутризеренного образования усталостных бороздок, сочетавшемуся с механизмами межзёренного скола и ямочного вязкого разрушения, а также хрупкого разрушения по бороздам текстуры прокатки.

Значительная рельефность поверхности в этой зоне связана с тем, что очаговая усталостная трещина возникает на границе упрочненного поверхностного слоя и основного массива материала, формируя «храповый узор» (рис. 1, *a*), свидетельствующий о многоочаговости зарождения, связанного с повышенной концентрацией напряжений вследствие большого перепада твердости и геометрических особенностей в выкружке зубьев.

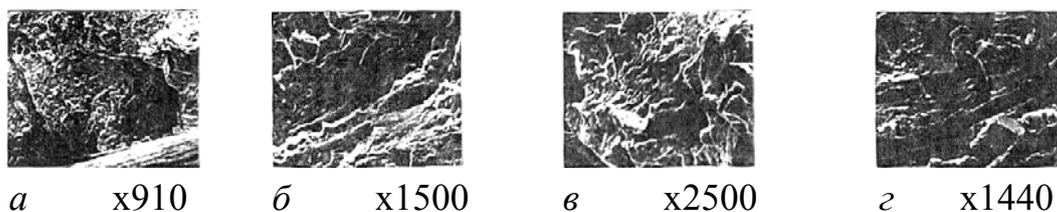


Рис. 1. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм разрушения α нр = 24° , $Z = 30$, $Q = 250$ МПа, $N_{ц} = 4 \cdot 10^5$ ($a - T_1$, $б, в - T_2$, $г - T_3$)

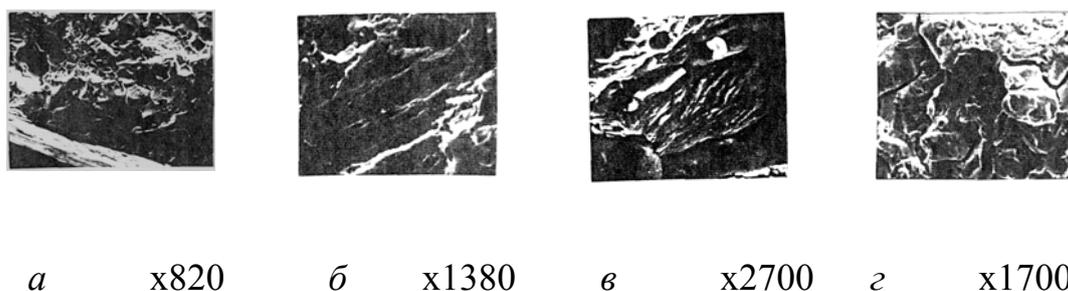
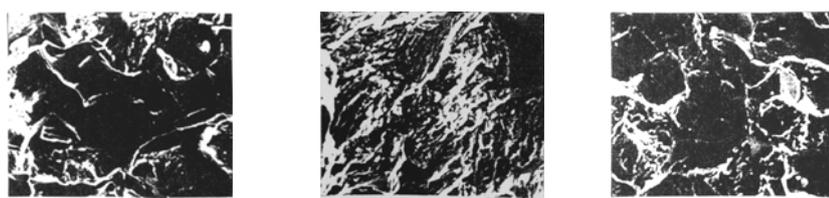


Рис. 2. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм разрушения α нр = 24° , $Z = 30$, $Q = 440$ МПа, $N_{ц} = 7,8 \cdot 10^3$ ($a - T_1$, $б, в - T_2$, $г - T_3$)

Наличие различных микромеханизмов разрушения на начальной стадии его развития, необходимость преодоления межзеренных границ и связанные с ним задержки привели к искривлению фронта трещины (рис. 2, в, 3, в) от плоскости действия максимальных нормальных напряжений. На участке зоны стабильного роста усталостной трещины в окрестности нейтральной оси сечения поверхностей изломов исследуемых профилей, независимо от уровня нагружения, характерным является наличие ярко выраженного формирования усталостного разрушения по механизму



образования хрупких бороздок усталости (рис. 3, в, 4, в, 6, в) различной протяженности и энергоемкости, сочетание их с фасетками квазихрупкого и участками вязкого ямочного разрушения с ямками сдвигового характера.



a x850 *б* x1600 *в* x2900 *г* x1600

Рис. 3. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм разрушения α нр = 28° , $Z = 30$, $Q = 275$ МПа, $N_{ц} = 6,6 \cdot 10^5$ (*a* – T_1 , *б*, *в* – T_2 , *г* – T_3)

Анализ полученных фрактограмм свидетельствует о том, что увеличение циклической нагрузки способствовало переходу на стороне излома, подверженной действию напряжений растяжения, к микромеханизму усталостного по типу образования хрупких усталостных бороздок и наличием расположенных по их длине вторичных микротрещин.



a x780 *б* x1600 *в* x2500 *г* x1400

Рис. 4. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм Разрушения α нр = 28° , $Z = 30$, $Q = 450$ МПа, $N_{ц} = 1,6 \cdot 10^4$ (*a* – T_1 , *б*, *в* – T_2 , *г* – T_3)

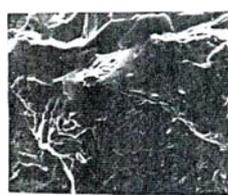
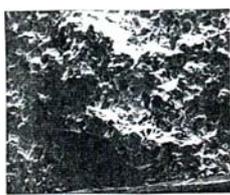
Сравнительный анализ фрактограмм показал, что в малоцикловых изломах рельефные бороздки чередуются с тонкими слаборельефными на протяжении всей усталостной зоны, а в многоцикловых такое чередование

наблюдается лишь в зоне ускоренного развития трещины; в зоне же избирательного развития присутствуют только слаборельефные бороздки. Кроме того, увеличение нагрузки почти вдвое способствовало росту зоны пластической деформации у вершин трещины и соответствующему увеличению шага скачков и скорости распространения трещины, что приводит к значительному снижению числа циклов нагрузки до разрушения. Наличие микромеханизмов разрушения, характерных для высокоскоростного его развития, становится более выраженным с увеличением угла зацепления на нерабочей стороне профиля (см. рис. 2, в, 4, в, 6, в), связанного по-видимому с фактором повышения высоты опасного сечения зуба, вызванного увеличением угла зацепления.

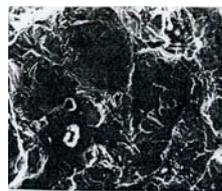
Дальнейший анализ поверхностей изломов зубьев различных профилей, отличающихся по долговечности в несколько раз, при прочих равных условиях, имеющих одинаковый вид поверхностей изломов, позволяет сделать вывод о том, что повышение несущей способности с увеличением угла профиля нерабочей стороны профиля зубьев связано в основном с ростом сопротивления зарождению усталостной трещины, а не сопротивлению ее развитию.

На стороне излома, подверженной до образования магистральной трещины действию напряжений сжатия, поверхность имеет ярко выраженный характер хрупкого разрушения (см. рис. 3, з, 4, з). Это связано с тем, что разрушение переходит в плоскость действия максимальных нормальных напряжений, последние определяют развитие магистральной трещины на всем оставшемся пути. При достижении напряжений перед фронтом трещины своего критического значения происходит окончательное разрушение – долом.

Поверхность изломов на участке долома состоит из фасеток межзеренного и внутризеренного хрупкого разрушения с гребнями пластической



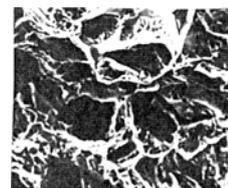
деформации и вторичными трещинами вдоль боковых границ зерен.



a x870 *б* x2500 *г* x1460

Рис. 5. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм разрушения α нр = 32° , $Z = 30$, $Q = 275$ МПа, $N_{ц} = 1,1 \cdot 10^6$ (*a* – T_1 , *б* – T_2 , *г* – T_3)

Сравнительный анализ поверхностей изломов по несущей способности показал, что многоцикловое разрушение с увеличением угла зацепления наряду с межзеренным и внутризеренным хрупким разрушением приобретает элементы вязкого разрушения с попутным образованием зернограничных трещин (см. рис. 1, *г*, 3, *д*, 5, *д*). Малоцикловое разрушение с увеличением угла зацепления приобретает вид вязкого ямочного разрушения (см. рис. 2, *д*, 4, *д*, 6, *д*) по скоростному механизму зарождения и их коалисценции.



a x900 *б* x1460 *в* x2600 *г* x1600

Рис. 6. Влияние отнулевого усталостного нагружения на механизм разрушения α нр = 32° , $Z = 30$, $Q = 450$ МПа, $N_{ц} = 2,6 \cdot 10^4$ (*a* – T_1 , *б*, *в* – T_2 , *г* – T_3)

Таким образом, анализ зависимости количества вязких составляющих на поверхностях изломов зубьев и их несущей способностью позволил

установить, что при увеличении уровня нагружения и соответственном снижении ресурса работоспособности увеличивается доли вязких участков разрушения в микростроении. По-видимому, это обусловлено тем, что при возрастании скорости распространения трещины и соответственном увеличении его кинетической энергии для остановки дальнейшего его продвижения требуется большая пластическая деформация.

Фрактографически это выражается в том, что в зонах развития усталостной трещины при высоком уровне нагружения, по сравнению с низким уровнем нагружения, микровязкие участки разрушения наблюдаются чаще и они более выражены при прочих равных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фридман Я.Б., Гордеева Т.А., Зайцев А.И.* Строение и анализ изломов. М.: Машгиз, 1960. 128 с.
2. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Классификация видов поверхностей разрушения (изломов) металлов: Рекомендации. М.: ВНИИНМаш, 1989. 46 с.
3. Фрактография и атлас фрактографий: Справочник / Пер. с англ. под ред. М. Л. Бернштейна. М.: Металлургия, 1992. 489 с.

Файл: 5_Ержанов.doc
Каталог: C:\Documents and Settings\Санду\Мои документы
Шаблон: C:\Documents and Settings\Санду\Application
Data\Microsoft\Шаблоны\Normal.dotm
Заголовок: УДК 621
Содержание:
Автор: Admin
Ключевые слова:
Заметки:
Дата создания: 24.11.2008 21:19:00
Число сохранений: 2
Дата сохранения: 24.11.2008 21:19:00
Сохранил: Dinara
Полное время правки: 17 мин.
Дата печати: 07.12.2012 10:12:00
При последней печати
страниц: 8
слов: 1 657 (прибл.)
знаков: 9 451 (прибл.)