

МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ КАПРОЛОНОВЫХ ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

Канд. техн. наук, доц. В.И. МОЛЧАНОВ

На основе проведенных автором экспериментальных исследований рассматриваются вопросы работоспособности капролоновых зубьев червячных колес, изложена механика усталостного разрушения капролона с точки зрения трещиностойкости.

The given article touches upon the questions concerning the ability to work of caprolonic cogs of work wheels and mechanics of fatigue caprolon destruction from the point of view of its crack growth resistance based on the experimental research made by the author.

Одна из основных задач механики твердого тела состоит в оценке прочности элементов, работающих в реальных условиях эксплуатации. Среди параметров, характеризующих прочность материала, в последнее время все более важным становится трещиностойкость.

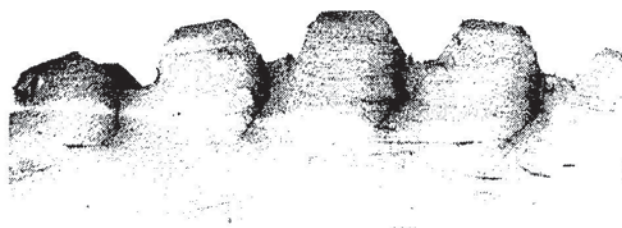
Впервые для металлополимерных передач было установлено [1], что при линейном характере контакта червяка и колеса напряжения изгиба возрастают к торцам колеса, несмотря на приближение контактной линии к основанию зуба.

Это хорошо согласуется с экспериментами В.П. Матвиенко, который обнаружил, что трещины, приводящие в дальнейшем к излому зубьев, возникают именно в торцовых сечениях [2]. Это, на первый взгляд, странное явление можно объяснить тем, что модуль упругости стального червяка примерно на два порядка больше, чем пластмассового колеса, и по отношению к зубьям колеса червяк можно считать штампом, т. е. упругие прогибы вдоль всей линии контакта постоянны. Распределение нагрузки по длине линии контакта и напряжения изгиба у основания зуба по его длине зависят при этом от жесткости соответствующих участков зуба, а она резко возрастает с уменьшением плеча изгиба, что и вызывает наблюдаемый эффект.

Разгрузить края зубьев можно путем увеличения диаметра червячной фрезы по сравнению с диаметром червяка. При этом контакт локализуется в середине (эффект бочкообразности), а края зуба разгружаются. Конечно, это приведет к некоторому ухудшению условий сохранения масляного клина. Однако ранее установлено [3], что нагрузочная способность капролоновых червячных передач ограничивается именно изломной прочностью, а по контактной имеется резерв. Смысл локализации нагрузки в середине зуба состоит в использовании этого резерва для повышения изгибной и, следовательно, его общей прочности. Окончательный эффект локализации можно проверить только экспериментально.

Усталостная трещина у основания зуба колеса возникает на сравнительно ранних стадиях циклического деформирования, например, для пары сталь 40Х – капролон уже при эквивалентном числе циклов перемен напряжений $N_{FE} = 5,6 \cdot 10^5$ и нагрузки $T_2 = 150$ Н·м (рис. 1, а). Но дальнейшее развитие усталостной трещины — длительный процесс, а иногда, при определенных условиях, он будет и совсем остановившимся в своем развитии. В приведенном примере излом зубьев наступил лишь при достижении эквивалентного числа циклов $N_{FE} = 1,15 \cdot 10^6$ без изменения нагрузки (рис. 1, в).

В эксплуатации такое червячное колесо еще на первой стадии (при обнаружении в его зубьях трещин) наверняка было бы забраковано, что привело бы к преждевременной



а)



б)



в)

Рис. 1. Разрушение зубьев червячного колеса из капролона редуктора Ч-80 ($T_2 = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}$): а — начало развития усталостных трещин ($N_{FE} = 5,6 \cdot 10^3$); б — распространение трещины по основанию зуба ($N_{FE} = 1,04 \cdot 10^6$); в — излом группы зубьев ($N_{FE} = 1,15 \cdot 10^6$)

замене детали редуктора. Отмеченное обстоятельство имеет большое практическое значение для конструкций, безопасных по разрушению.

Причина образования микротрещин и механизм разрушения капролона хорошо объясняется с помощью флуктуационной теории прочности и тех экспериментальных данных, которые были приведены.

Первичным актом разрушения является напряжение химической связи под влиянием механического поля. Тепловые флуктуации, т.е. локальные резкие возрастания внутренней энергии, вызывают разрыв напряженной связи. Вероятность разрыва определяется

множителем $e^{-\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}}$ из известного уравнения С.Н. Журкова [4], значение которого зависит от температуры и приложенного напряжения. Чем выше температура, тем больше вероятность разрыва. При сравнительно невысоких температурах разрыву способствует приложенное напряжение, которое уменьшает энергию на $\gamma\sigma$. Чем сильнее напряжены полимерные молекулы, тем вероятнее разрушение связей и тем скорее тело разрушается. Таким образом, разрушение капролона, в основном, определяется тепловыми флуктуациями, внешние силы обуславливают лишь направленность процесса.

Таким образом, долговечность (живучесть) капролоновых зубьев червячных колес от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0.5...1 мм до окончательного разрушения (рис. 3) эквивалента времени от начала испытаний (рис. 2) до указанного момента.

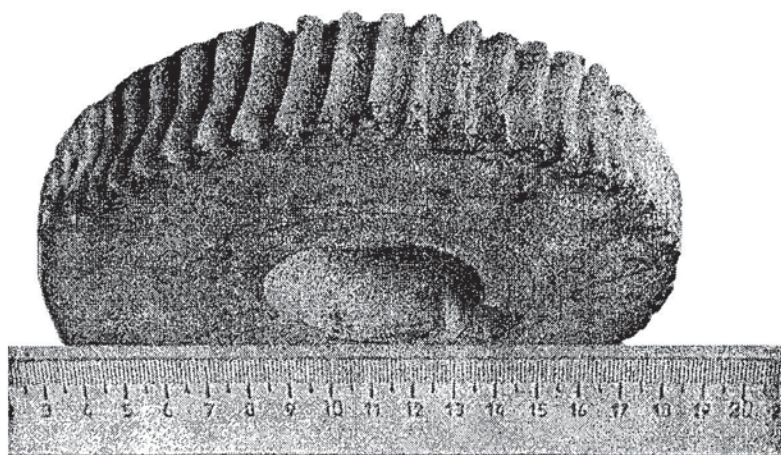


Рис. 2. Капролоновое червячное колесо перед началом испытаний

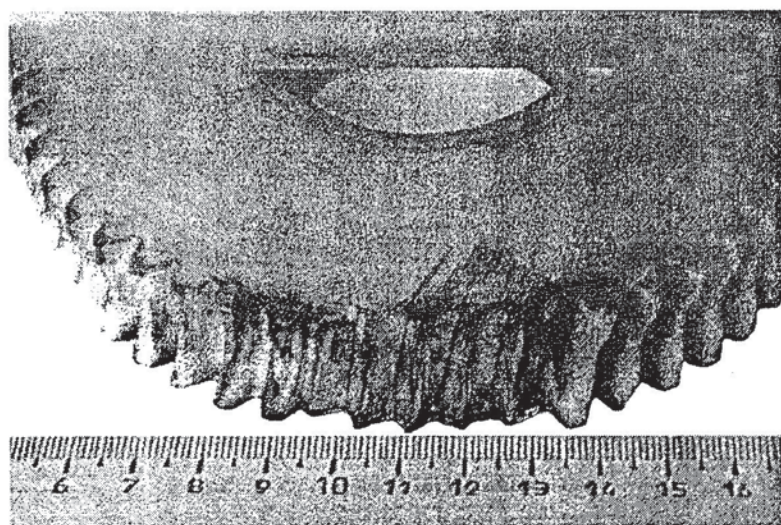


Рис. 3. Капролоновое червячное колесо после испытаний

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное исследование напряжений изгиба зубьев пластмассовых червячных колес / В.И. Молчанов, В.П. Нетребко, А.С. Яковлев и др. // Детали машин. — К.: Техника, 1980. — Вып. 31. — С. 26—29.
2. М а т в и е н к о В. П. Применение капролона в червячных передачах вместо бронзы К.: // Машиностроение. — 1965. — № 6. — С. 40—42.
3. М о л ч а н о в В. И., Я к о в л е в А. С. Результаты стендовых испытаний червячных редукторов с капролоновыми колёсами / Детали машин. // Техника: К, 1983. — Вып.36. — С. 52—54.
4. Ж у р к о в С. Н. Кинематическая концепция прочности твердых тел// Известия АН СССР. Сер. Неорганические материалы. — 1967. — № 10. — С. 1767—1771.