

УДК 621.91:622

О. В. Казакова, магистр,

Научный руководитель: **Н. В. Сурина**, к.т.н., доц, Московский государственный горный университет

E-mail: kaftmr@msmu.ru

Анализ методов повышения надежности зубчатых колес трансмиссий очистных комбайнов

Проанализированы факторы, влияющие на надежность зубчатых колес трансмиссий очистных комбайнов. Предложены методы, позволяющие повысить надежность трансмиссий.

Ключевые слова: надежность, трансмиссия, очистные комбайны, методы повышения надежности.

N. V. Surina, O. V. Kazakova

Analysis Methods for Increasing the Reliability of Transmission Gears Shearers

Provides an analysis of factors affecting the reliability of the transmission gears shearers. We propose methods to improve the reliability of transmissions.

Keywords: reliability, transmission, shearer, methods to improve reliability.

Критерием предельного состояния зубчатых колес трансмиссий очистных комбайнов являются поверхностные разрушения, о чем говорят многочисленные исследования в этой области. Такой характер разрушений связан с превышением действующими напряжениями прочности материала в зонах контакта зубьев колес, что вызвано в свою очередь тяжелыми режимами нагружения колес, особенностями строения материала поверхностного слоя, технологической наследственностью.

Поверхностно упрочненные (цементованные, нитроцементованных) зубчатые колеса выходят из строя вследствие прогрессирующего выкрашивания (питтинга) и отслоения упрочненного слоя. Выкрашивание является результатом образования усталостных трещин в поверхностном слое, отслоение упрочненного слоя возникает в результате образования подслояных усталостных трещин.

В первую очередь, для анализа причин возникновения вышеперечисленных дефектов необходимо изучить характер действующих эксплуатационных нагрузок. Необходимо учитывать все изменения

нагрузок, даже если они действуют очень короткое время, поскольку могут вызвать критические изменения в структуре материала, после чего разрушения будут неизбежны. Необходимо учитывать средние длительно действующие и максимальные кратковременно действующие нагрузки.

Во время зацепления на зубья нагруженных колес действует нормальная к их поверхности распределенная вдоль контактной линии сила, под действием которой в зубьях возникают контактные напряжения и напряжения изгиба. Максимальное напряжение изгиба возникает, когда нагрузка воспринимается одной парой, а точка ее приложения наиболее удалена от корня зуба.

Контактирующие поверхности зубьев воспринимают как нормальные, так и касательные напряжения. Нормальные контактные напряжения имеют наибольшую величину на поверхности и уменьшаются вглубь зуба. Касательные напряжения, в отличие от нормальных, имеют наибольшую величину на некоторой глубине под поверхностью. Возникающие в зацеплении касательные силы трения увеличивают поверхностные и глубинные касательные напряжения. Из-за сложного напряженного состояния, вызванного совместным действием нормальных и касательных напряжений, в поверхностном упрочненном слое может возникнуть пластическая деформация материала. Следы пластической деформации были определены автором данной статьи при проведении металлографического исследования поверхностного слоя цементованного зубчатого колеса из стали 20Х2Н4А трансмиссии очистного комбайна К-101. Кроме того, как показали исследования [2] в результате возникновения градиентов давления, упругой и пластической деформации, температуры в микрообъемах зубьев изменяется кинетика диффузии элементов. В результате микродиффузионных перемещений в слое могут возникнуть различные дефекты, в частности пористость.

Во - вторых, на нагрузочную способность зубчатых колес во многом влияет качество и глубина упрочненного слоя. Как показывают исследования [1], микротвердость по толщине упрочненного слоя цементованных и нитроцементованных зубьев распределяется неравномерно. Толщина поверхностной зоны от 0 до 0,1 мм, может иметь пониженную твердость из-за возникновения различных дефектов связанных с внутренним окислением, структурой немартенситного типа и т.п. Эффективная толщина слоя имеет максимальную твердость на глубине 0,1-0,3 мм, которая затем уменьшается к сердцевине зуба. Кроме того, толщина упрочненного слоя по профилю зубьев неравномерна: она всегда

максимальна в верхней части их головки и минимальна во впадине между зубьями.

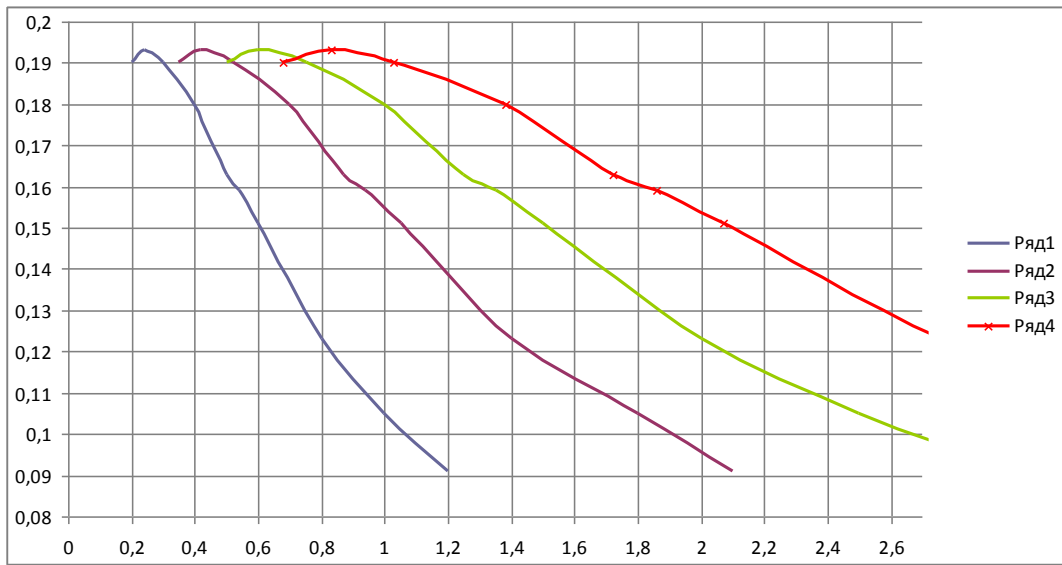
Выполненные в работе [1] исследования показывают, что свойства материала во впадине между зубьями определяют не только прочность зубьев при изгибе, но и в значительной степени влияют на контактную прочность поверхности зубьев. Чем больше под действием контактных нагрузок зуб отклоняется от расчетного положения, тем больше изменений и в самом контакте, т.к. при этом изменяются силы трения и, могут значительно возрасти динамические нагрузки. Увеличение толщины слоя во впадине между зубьями повышает их усталостную долговечность.

Еще один вопрос в необходимости оптимального соотношения между толщиной и твердостью упрочненного слоя и твердостью сердцевины. Вероятность зарождения глубинных контактных разрушений в упрочненном слое, как показали исследования, возрастает с увеличением отношения твердости поверхности к твердости сердцевины. Кроме того, достижение высокой твердости и толщины упрочненного слоя связано с длительным высокотемпературным нагревом, что приводит к деформации и снижению точности зуба, а достижение точности зубчатых колес так же важно, как и повышение их прочности.

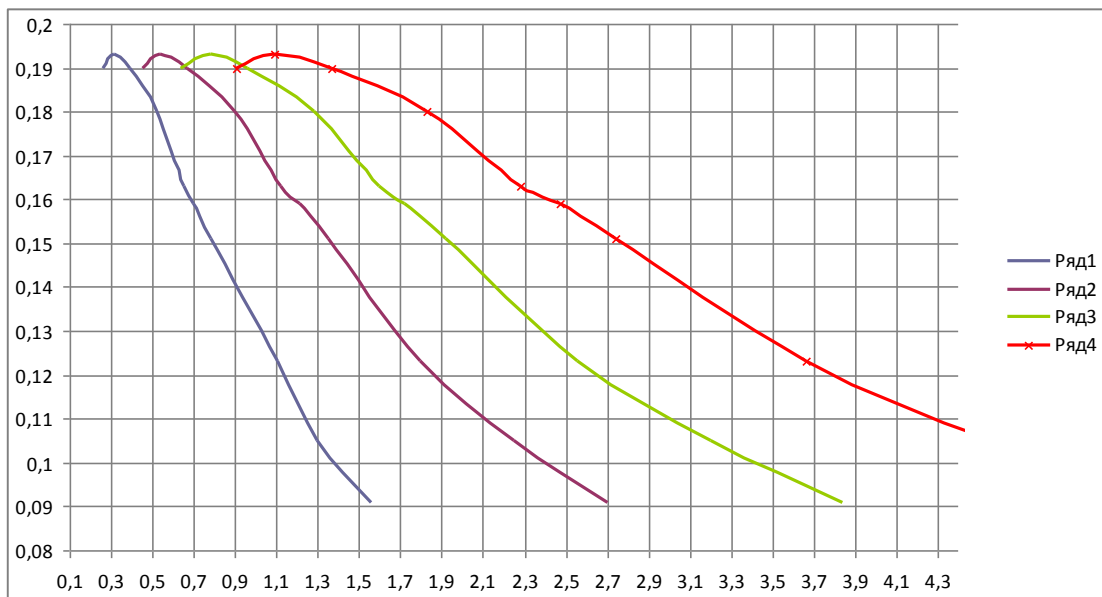
С целью выявления причин возникновения глубинных усталостных повреждений был проведен расчет зубчатых колес редуктора очистного комбайна на глубинную контактную выносливость. Контактные нагрузки определенного уровня, могут вызывать подслоиные касательные напряжения, превышающие предел глубинной выносливости и привести к развитию подслоиных усталостных трещин.

Оценка контактных напряжений в трансмиссии комбайна К-500 проводилась, учитывая действия средних, пусковых, максимальных и пиковых нагрузок, обусловленных прорезанием резцами исполнительного органа твердых включений угольного пласта [3].

Анализировались касательные напряжения, вызванные действием устойчивого момента (ряд 1), пускового момента (ряд 2), максимального момента (ряд 3), пикового момента (ряд 4) на валу шестерни. На графиках показана зависимость изменения относительного приведенного напряжения $\frac{\tau_{np}}{\sigma_H}$ (по оси у) от глубины упрочненного слоя z в мм (по оси х). Где τ_{np} - приведенное касательное напряжение вызывающее глубинное разрушение, σ_H - контактное напряжение. Зависимости приведены для трех пар трансмиссии, две последние из которых лимитируют ее работу.



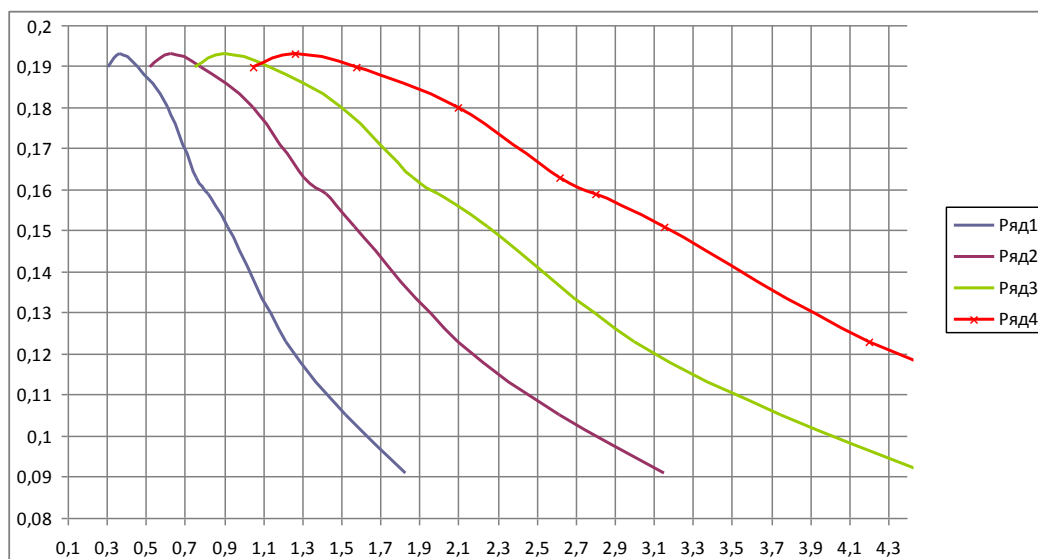
а)



б)

Рис. 1. Зависимости приведенных касательных напряжений от глубины упрочненного слоя:

а - 1-2 пара (глубина цементационного слоя 1,1-1,5 мм); б – 4-5 пара (глубина цементационного слоя 1,1-1,5 мм)



в)

Продолжение рис. 1:
в – 6-7 пара (глубина цементационного слоя 1,4-1,8 мм)

Как видно из графиков действующие на глубине слоя приведенные напряжения неодинаковы по величине и имеют максимальное значение на глубине 0,4-0,6 мм при действии нагрузок среднего уровня. В результате расчетов установлено, что при максимальных и особенно пиковых нагрузках, зона действия максимальных глубинных напряжений смещается в глубину упрочненного слоя на 0,3-0,6 мм. Таким образом, наибольшие напряжения τ_{np} могут действовать либо на границе упрочненного слоя, либо в подслоной зоне, что будет вызывать образование подслоной усталостной трещины.

Все рассмотренные зубчатые колеса подвергались поверхностному упрочнению – газовой цементации. Высокотемпературный режим цементации и последующей закалки, приводит к короблению, деформации и снижению точности изготовления зубчатых колес на 2...3 порядка. Поэтому для компенсации деформационного эффекта и достижения 8 степени точности изготовления после химико-термической обработки применяют операцию зубошлифования.

Снятие при шлифовании 0,15 - 0,3 мм упрочненного слоя приводит к значительному снижению его эффективной толщины, в результате чего максимальные глубинные напряжения, вызванные действием

кратковременных нагрузок высокого уровня, уходят в подслоиную область.

Для предотвращения поверхностных и особенно глубинных усталостных разрушений зубчатых колес необходим комплексный подход включающий в себя совершенствование методов химико-термической обработки и внедрение новых методов финишной обработки, направленной на достижение высокой точности зубчатого колеса.

Приведенные в работе [1] данные показали, что основными показателями, определяющими долговечность зубчатых колес в условиях контактной выносливости, являются эффективная толщина слоя, в том числе и во впадине между зубьями, микротвердость поверхностной зоны, твердость сердцевины. В результате многочисленных исследований в работе представлены оптимальные значения перечисленных параметров.

Зубошлифование является наиболее производительным методом обеспечения высокой точности зубчатых колес после химико-термической обработки. Однако, особенностью всех методов зубошлифования является неравномерный съем припуска по длине и высоте зуба, что в сочетании с погрешностью профиля приводит к существенным колебаниям глубины шлифования [4]. Процесс зубошлифования, связанный с тепловым воздействием, может вызвать структурные изменения в поверхностном слое зубчатого колеса в виде прижогов. Микротвердость в зоне прижогов снижается, а в поверхностном слое возникают растягивающие остаточные напряжения. Соответственно снижается долговечность зубчатого колеса по контактной (в 3,5 раза) и изгибной (в 1,4...1,6 раз) выносливости.

При традиционном методе шлифования для обеспечения свободного выхода шлифовального круга при нарезании зуба специальной фрезой с протуберанцем формируется выкружка (поднутрение) у основания зуба. Эта вынужденная технологическая мера ослабляет наиболее напряженную часть зубчатого профиля, что в свою очередь понижает и контактную выносливость, о чем говорилось ранее.

Применение альтернативного метода профильного глубинного шлифования высокопористыми кругами [5] дает возможность эффективно решить стоящие проблемы. Предлагаемый метод обеспечивает равномерный съем припуска при более низком нагреве обрабатываемой поверхности, чтобы предотвратить появление на ней дефектов шлифовочного характера. Для обеспечения высокой точности формируемого профиля инструмент подвергается принудительной правке специальными профильными алмазными роликами. Высокопористые шлифовальные круги из электрокорунда и карбида кремния обладают повышенной прочностью, высокой износостойкостью и обеспечивают минимальную работу трения с профилируемой впадиной, за счет уменьшения количества абразивных зерен, находящихся в зоне контакта инструмента с профилем зуба. Применение высокопористых кругов дает

возможность уменьшить количество проходов за счет увеличения глубины врезания, компенсируя увеличение площади контакта снижением числа работающих абразивных зерен. Кроме того, температура нагрева в зоне обработки снижается на 300...400⁰С по сравнению с применением шлифовальных кругов нормальной структуры, что предотвращает возникновение прижогов и других шлифовочных дефектов. Поверхностный слой деталей формируется с минимальными макро- и микроструктурными искажениями на глубине до 10 мкм или их отсутствием и наведением сжимающих остаточных напряжений на поверхности величиной до 240 МПа.

Вывод: Для повышения надежности зубчатых колес трансмиссий горных машин, работающих в условиях тяжелых эксплуатационных нагрузок, необходимо использовать последние достижения химико-термической обработки для получения оптимальной структуры, глубины и твердости поверхностного упроченного слоя, а также применять современные методы шлифования позволяющие снимать равномерный припуск по всей рабочей поверхности и ножке зуба и исключить возникновение шлифовочных дефектов.

Список литературы

1. **В.М. Зинченко.** Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.-303 с.
2. **Любарский И.М.,** Палатник Л.С. Металлофизика трения / Серия «Успехи современного металловедения». М.: Металлургия, 1976. 176 с.
3. **Сурина Н.В.** Установление режимов нагружения и определение ресурса трансмиссий очистных комбайнов для тонких пластов на стадии проектирования. Автореферат дис. на соиск.уч. ст.канд.техн.наук.М.: 1991.
4. **Якимов А.В.** Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. М.: Машиностроение,1984, 311 с.
5. **Старков В.К.** Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.