

УДК 622.232.002

С. Л. Иванов, д.т.н., проф., **В. М. Николаев**, аспирант, **И. Е. Звонарев**, ассистент, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

E-mail: lisa_lisa74@mail.ru, sargoz@yandex.ru, ZVano@mail.ru

Оценка состояния элементов трансмиссий горных машин по локальным изменениям твердости их поверхностей при проведении технического обслуживания

Достоверная оценка состояния зубчатых колес горных машин, по результатам проводимой в рамках технического обслуживания диагностики, способствует сокращению аварийных отказов оборудования. Для этого необходима простая и достоверная система оценки технического состояния зубчатых передач машин.

Известно, что в процессе эксплуатации изменяются свойства поверхностного слоя зубьев зубчатых колес, и оценка характера этого изменения может являться исходным обобщенным диагностическим критерием.

S.L. Ivanov ,V.M. Nikolaev , I.E. Zvonarev

Assessment of Transmission Elements Mining Machines on the Local Changes of Surface Hardness for Maintenance

Reliable assessment of mining machines gears, according to the results carried out under maintenance diagnostics, helps to reduce emergency equipment failures. This requires a simple and reliable system for assessing the gear machines technical state.

It is known that the gear teeth surface layer properties change during operation, and the evaluation of this change nature may be a diagnostic criterion generic baseline.

При длительной эксплуатации горных машин неизбежно возникают повреждения или нарушения работоспособности элементов их трансмиссий, даже при отсутствии дефектов изготовления и соблюдении правил эксплуатации. Это обусловлено особенностями условий эксплуатации горных машин [2].

Большая часть механических и технологических отказов (около 90 %) проявляется постепенно в изменении одного или нескольких выходных параметров, поэтому их называют также параметрическими [1].

Сложность оценки остаточного ресурса передач горных машин заключается в том, что основные элементы зубчатого колеса - их зубья, в процессе эксплуатации испытывают совместные контактные и изгибные нагрузки, усугубляемые износом рабочих профилей зубьев. При этом возможная причина выхода из строя конкретного зубчатого колеса

достоверно не определима и носит вероятностный характер. В тоже время диагностические признаки различных видов разрушения зубьев зубчатых колес не имеют общего критерия, удобного при диагностировании остаточного ресурса.

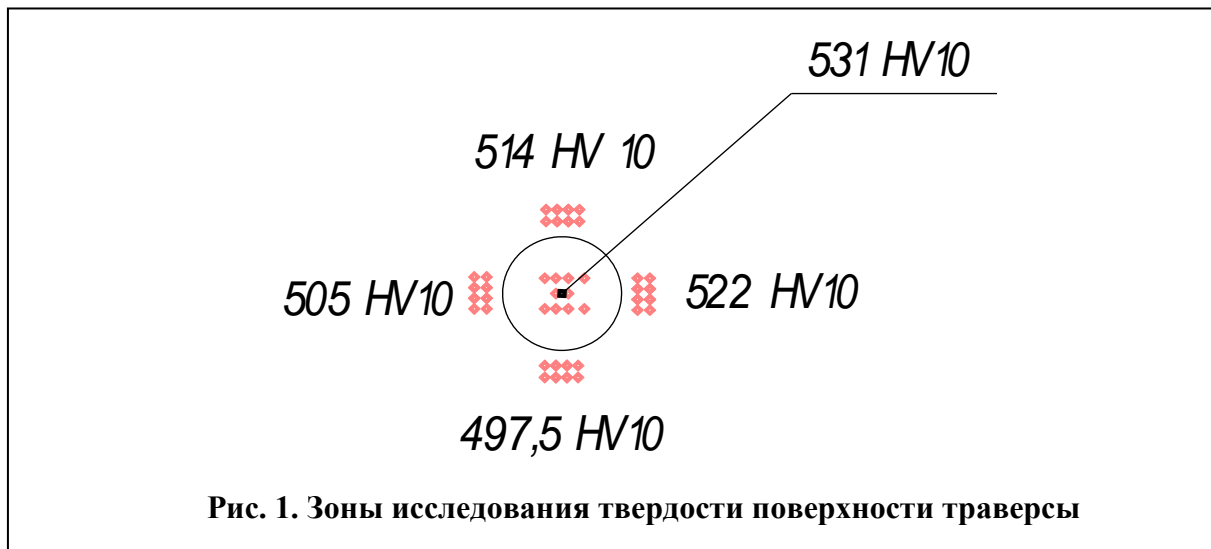
При эксплуатации зуб зубчатого колеса передачи находится в сложном напряженном состоянии в результате действующих на него нагрузок, при этом разделить ту часть энергии, которая расходуется на разрушение, эквивалентную каждому из этих факторов разрушения, довольно сложно. Определив в совокупном воздействии лидирующий фактор разрушения, возможно, диагностировать состояние зубчатой передачи [5]. Под действием усилия в зацеплении в зубе колеса возникают изгибные и контактные напряжения, вызывая соответствующую деградацию материала колеса, что ведет к изменению твердости поверхностного слоя зуба. Известно, что в процессе эксплуатации детали машин, имеющие исходную твердость поверхностного слоя до 350 *HV*, имеют тенденцию к ее повышению в местах возникновения напряжений. Так у термически улучшенных сталей, характерных для крупномодульных зубчатых колес, подверженных разрушению растяжением и знакопеременным изгибом, твердость поверхностного слоя материала в зоне разрушения была неизменной величиной.

Экспериментально подтверждено, что твердость поверхностного слоя в зоне, прилегающей к поверхности разрушения, является неизменной величиной вне зависимости от способа нагружения и может являться диагностическим критерием для оценки [3]. Авторами установлено, что твердость поверхностного слоя материала зуба с исходной твердостью до 350 *HV* крупномодульного зубчатого колеса горной машины изменяется в деформационных зонах, возникающих под действием нагрузок. При этом повышение твердости поверхностного слоя зуба больше в тех зонах, где выше расчетные напряжения, а предельная величина твердости находящаяся в зоне, прилегающей к поверхности разрушения, не зависит от способа нагружения и определяется свойствами материала [3,4,3].

Подобная тенденция выявлена в ходе исследований и у легированных цементуемых сталей с поверхностной твердостью 56...58 *HRC*. Данный единообразный характер отклика на однотипное внешнее воздействие столь различных по твердости сталей, из которых изготавливаются детали горных машин, позволяет распространить выявленные тенденции для нормализуемых сталей на цементуемые и использовать методы оценки величины остаточного ресурса деталей горных машин и их элементов по градиенту изменения поверхностной твердости. При этом детерминировано выявить характер изменения твердости поверхностного слоя зубьев в зависимости от вида нагружения, подвергая их простому нагружению вплоть до полного их разрушения наиболее просто возможно на простых по форме образцах.

При этом не требуется соблюдения геометрического подобия между образцом и зубом зубчатого колеса, т.к. частной задачей исследования является выявление общей тенденции, свойственной материалу при разрушении.

На первом этапе для проведения экспериментов были выбраны образцы из стали 18ХГТ – траверсы радиально-поршневого гидромотора ДП-510. Были проведены локальные замеры твердости возле рабочей зоны воздействия плунжера.



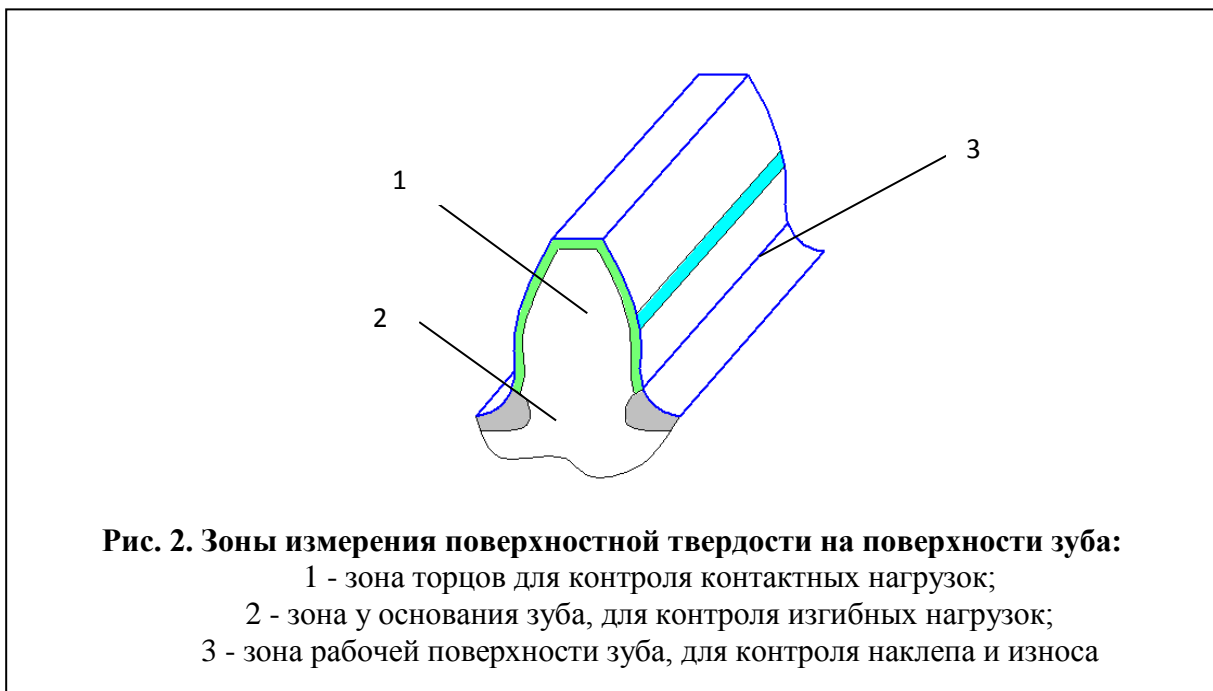
В связи с неоднородностью свойств конструкционных материалов и отклонениями в режимах технологии производства деталей, характеристики механических свойств образцов и элементов конструкций носят случайный характер и могут принимать существенно различные значения при повторении испытаний с максимально возможным полным соблюдением их условий. Поэтому полученные опытным путем характеристики дают лишь приближенную оценку фактическим свойствам.

Производить оценку изменения твердости поверхностного слоя зубьев зубчатого колеса крупномодульной передачи горной машины, а так же контролировать механический износ нужно во время проведения ППР и при остановках оборудования.

Перед измерениями значений твердости поверхностного слоя зубьев необходимо очистить торцевые и рабочие поверхности исследуемого зуба, для уменьшения погрешности при измерении твердости поверхностного слоя. Данные изменения так же фиксируются при проведении процедуры диагностики и сравнения допускаемой и фактической величин твердости в зонах:

– для оценки изгибной усталостной прочности в зоне впадины зуба, вдоль переходной кривой (рисунок 2, позиция 2), на максимально близком расстоянии от кромки впадины, не превышающим 2 мм;

– для оценки контактных нагрузок – на торцах зубьев, на максимально близком расстоянии от кромки зуба в районе, прилегающем к начальной окружности на расстоянии $\pm 0,2 m$ от нее на головке и ножке зуба, а так же на рабочих поверхностях зуба по ширине венца, так же на расстоянии $\pm 0,2 m$ выше и ниже начального диаметра как базовое измерение. Так как здесь расположен полюс зацепления и скольжения минимальны. А также, учитывая высокую твердость рабочих эвольвентных поверхностей зубьев колес, максимально удаленные рабочие области от начальной окружности головки и ножки зуба. Именно в этих областях в первую очередь проявляется питтинг. Линейный износ у зубьев такой твердости минимален, поэтому изменения твердости поверхностного слоя максимально точно будут отражать характер контактных нагрузок и по его градиенту возможно судить об интенсивности протекания деградиционных процессов рабочих профилей зубьев.



Измерения значений твердости рабочих поверхностей необходимо производить в каждой серии замеров на двух парах диаметрально расположенных зубьев для четного числа зубьев на зубчатом колесе. В случае нечетного числа зубьев на колесе, первый зуб выбирается произвольно, а второй зуб с противоположной стороны высчитывается из выражения $z_2 = 0,5 \cdot z_{\text{общ}} - 1$, где $z_{\text{общ}}$ - общее число зубьев на колесе.

При каждой серии измерений значений твердости следует проводить замеры как на продиагностированных зубьях, так и на рядом находящихся зубьях колеса, по отношению к предыдущей серии диагностических процедур. В целях получения достоверных данных при проведении диагностических процедур, следует аккуратно проводить измерения

твердости поверхностного слоя вышеуказанных зон, производя измерения в непосредственной близости от предыдущих точек, что будет способствовать повышению надежности получаемой информации.

Однако следует понимать, что данным видом оценки состояния сложно оценивать сразу все факторы разрушения зубчатых колес. Стоит разграничить отдельно контактные и изгибные нагрузки и отдельно износ. То есть данный метод будет содержать в себе два вида оценки ресурса зубчатой передачи:

1. Измерения твердости зуба, которые могут отражать предельное состояние колеса по критериям изгибной и контактной прочности;
2. Измерение износа, которое будет производиться по стандартным методикам оценки износа.

Предельным состоянием закрытой зубчатой передачи, работающей в смазочной среде, является:

1. Увеличение твердости поверхностных слоев зубьев зубчатых колес не более чем на 0,8 [HV_{пр}] в характерных точках зуба. На торцевых поверхностях зуба на начальном диаметре 0,1 мм в непосредственной близости к рабочей эвольвентной поверхности зуба и на эвольвентной части поверхности зуба по ширине венца, а также на торцевых поверхностях зуба по радиусу переходной кривой [2]. При эксплуатации периодически осуществляют контроль переносным твердомером, например, Константа ТД с преобразователем D+15. При эксплуатации периодически осуществляется контроль толщины зуба.

2. Параллельно возможно вести контроль параметров сопутствующих процессов (уровни вибрации, величины акустико-эмиссионного сигнала, температуры узлов трения и др.).

Контролируемыми параметрами могут быть как непосредственно измеряемые величины повреждений (повышение твердости поверхностного слоя зуба зубчатой передачи, износ зубьев), так и выходные параметры оборудования (производительность, коэффициент полезного действия) и другие – параметры вибрации, шума, величина утечки смазки через уплотнения и т.д.

При контроле основных параметров обеспечивается получение достоверных данных в достаточном объеме. Диагностические мероприятия проводятся в рамках ТО, а их результаты заносят в штатные источники данных (вахтовые журналы, ведомости дефектов, контрольные карты, диаграммы и др.) или при их недостатке планируют специальные наблюдения за изменением эксплуатационных параметров.

Список литературы

1. РД 26.260.004-91 Методические указания Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. Руководящий документ. - М.: Издательство стандартов. - 1992. - 23 с.

2. **Андреева Л.И.** Оценка технического состояния экскаваторов для определения целесообразности их дальнейшей эксплуатации / Л.И. Андреева, В.А. Коростылев, К.О. Хан // Горное оборудование и электромеханика. - 2011. - № 6. - С. 12-16.

3. **Звонарев И.Е.** Оценка остаточного ресурса крупномодульных зубчатых передач горных машин по изменению твердости поверхностного слоя зубьев: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.05.06. - СПб. - 2013.

4. **Звонарев И.Е.** К вопросу оценки остаточного ресурса силовых передач горных машин / И.Е. Звонарев, С.Л. Иванов, А.С. Фокин, М.А. Семенов // Инновации в науке: материалы XIV международной заочной научно-практической конференции. - Новосибирск: Изд. «СибАК» - 2012. - С. 67-73.

5. **Ибатуллин И.Д.** Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография / И.Д. Ибатуллин. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т - 2008. - 387 с.

6. **Иванов С.Л.** Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов / С.Л. Иванов. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). - 1999. - 92 с.