

**Сидашенко А.И.,
Скобло Т.С.**

Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина
E-mail: KAFRM@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ИЗНОСА И РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СЕЛЬСКОХО- ЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.891

В работе выполнен анализ основных причин отказа деталей сельскохозяйственной техники в эксплуатации, предложена классификация их повреждаемости. Данная классификация может служить основой для разработки типовых технологических процессов восстановления деталей.

Ключевые слова: приработка поверхности, износ, долговечность, ремонт деталей, физико-механические характеристики, шероховатость, дефекты поверхности трения.

Введение

Долговечность деталей машин определяется их прочностью, жесткостью и износостойкостью. Обеспечение прочности и жесткости наиболее полно достигается при проектировании деталей и конструкций. Труднее достигается требуемый уровень износостойкости. Следует строго соблюдать правила технологической дисциплины изготовления и ремонта деталей, а также технической эксплуатации. Необходимо своевременно компенсировать износ трущихся поверхностей и производить требуемую регулировку деталей машин и механизмов.

В ряде случаев повышенный износ деталей происходит при нерегулярном техническом обслуживании. Так, в результате подтекания топлива и смазки возрастает загрязненность поверхностей деталей автотракторных двигателей. Вследствие неисправности регуляторов топливных насосов завышается частота вращения коленчатого вала, что приводит к его повреждаемости, а также к ослаблению резьбовых креплений деталей. Кроме того, повышенный износ деталей отмечается и из-за чрезмерного загрязнения ротора центрифуги.

Цель и постановки задачи

Целью данных исследований является определение основных причин отказа деталей сельскохозяйственной техники в эксплуатации для последующей разработки рекомендаций по их групповому восстановлению.

Методы исследований

При проведении исследований широко использовались методы математической статистики, исследовались пробы непосредственно с поверхности трения. Анализировалось наличие трещин, сколов, изменения фазового состава материала, степень упрочнения. Оценка износостойкости изношенного слоя проводилась в лабораторных условиях на машинах трения. СМУ-2 и на МИ-1М.

Результаты исследований и их обсуждение

Существенное влияние на долговечность деталей оказывает и качество материа-

ла, из которого они изготовлены или с помощью которого восстановлены. Прежде всего, необходимо правильно выбирать материал для наращивания слоя, его структуру и физико-механические характеристики (электрические, магнитные свойства, распределение химических элементов и специальных фаз, уровень прочности, пластичности, вязкости и твердости, склонность к релаксации и локализации напряжений, стабильность фазового состава и др.).

Важную роль играют эксплуатационные и конструктивные факторы. Большинство деталей (до 70%) подвергается действию знакопеременных нагрузок. Около 75% цилиндрических поверхностей имеют концентраторы напряжений: галтели, пазы под шпонки, кольцевые канавки, резьбы, лыски, отверстия.

Основные виды повреждаемости деталей приведены в табл. 1. Эти данные характеризуют причины выхода деталей из эксплуатации и характер возникаемых дефектов и они отражают результаты многолетних исследований и их обобщений.

К наиболее часто встречающимся дефектам относятся:

- в литой заготовке – горячие и холодные трещины, газовые и усадочные раковины, пористость и рыхлость, спаи, пленки, ликвационные зоны, скопления неметаллических включений;

- в прокате и поковке – неоднородность свойств, ликвация компонентов, закаты, рванины, расслоения, волосовины и флокены;

- при термической и механической обработках – закалочные и шлифовочные трещины, надрывы, задиры;

- при восстановлении деталей различными видами наплавки – шлаковые включения, поры и раковины, непровары, трещины и надрывы в шве и переходной зоне.

В процессе эксплуатации деталей происходят существенные изменения в металле их рабочего слоя. В связи с этим представляет интерес оценить физико-химические процессы, происходящие при изнашивании, и их влияние на повреждаемость и разрушение.

В период приработки деталей изменяется геометрия поверхности трения, ее физико-химические свойства, особенно в начальный период. Этот период характеризуется переменной скоростью изнашивания. С увеличением времени работы сопряжения она убывает до значения, соответствующего второму периоду, – установившегося износа.

Длительность периода приработки определяется первоначальной шероховатостью поверхности, материалом детали, удельными давлениями, и другими факторами. Однако это не означает, что при меньшей шероховатости исходной поверхности сократится период приработки. В ряде случаев, как при небольшой, так и при значительной шероховатости износ может возрастать. Уменьшение износа чаще всего достигается снижением удельных давлений и улучшением смазки поверхности [1].

Существенное влияние на зарождение и развитие повреждаемости оказывают и дефекты литой структуры, прокатного и ковального металла, из которых изготовлены детали, а также – возникающие при различных видах обработки (упрочняющей, ППД механической, термической).

В период приработки удаляется поврежденный слой металла сформированный при механической обработке, а также устраняются неточности формы и расположение трущихся поверхностей, вызванных дефектами сборки и обработки (биение, перекося, овальность, конусность, несоосность и др.).

Характерные виды повреждаемости деталей машин при эксплуатации

Вид повреждаемости	Наименование детали	Характер повреждения	Причины выхода деталей из эксплуатации
1	2	3	4
1. Разрушение			
Усталостный излом	Валы, оси, шатуны, болты	Образование усталостных трещин. Поверхность излома состоит из зон медленного, ускоренного развития трещин и зоны долома.	Действие знакопеременных нагрузок, циклических температурных напряжений. Неудовлетворительная прочность материала, наличие дефектов металлургического происхождения (наличие концентраторов напряжений)
Хрупкий излом	Корпусные детали, пальцы, болты фасонные детали, изготовленные из твердых сплавов – сталей и чугунов	При небольшой деформации излом имеет кристаллическое строение (преимущественно транскристаллитное разрушение)	Ударные нагрузки, низкое качество металла, дефекты термической обработки
Вязкий излом	Болты, пальцы	Сопровождается значительной деформацией. Излом матовый, волокнистый (чашечное строение, по границам зерен)	Перегрузки при эксплуатации
Потеря формы (остаточная деформация)	Болты, подшипники	Изменение геометрической формы детали (изгиб, вмятины, смятие резьбы и др.)	Действие переменных контактных, растягивающих или сжимающих напряжений, повышенных температур
Контактные усталостные повреждения	Зубчатые передачи, подшипники	Возникновение на контактных поверхностях мелких осповидных выщербин	Высокие контактные напряжения и низкая прочность материала
Деформация (ползучесть)	Трубы паропроводов	Медленная и непрерывная пластическая деформация	Нагрев выше температуры рекристаллизации, напряжения в материале выше предела упругости
Повреждения поверхности	Детали любого сопряжения или узла	Забойны, вмятины, риски, местный наклеп и отслаивание	Нарушение условий эксплуатации, разрушение детали, попадание абразива

1	2	3	4
Трещины (усталостные, термические, надрывы)	Детали узла, сопряжения, работающие при знакопеременных нагрузках и повышенных температурах	Нарушение сплошности поверхности слоя, приводящее к его отслаиванию, выкрашиванию	Действие высоких знакопеременных напряжений, резкое охлаждение деталей, недостаточное поступление смазки, высоких, одноразово приложенных напряжений
2. Изнашивание 2.1. Механическое			
Истирание механических пар (контактное взаимодействие)	Подшипники, поршневые кольца, втулки, валы, оси	Постепенное изменение геометрических размеров	Длительное трение сопряженных поверхностей
Абразивное	Детали гусениц тракторов, эскалаторов, рабочие органы машин, работающие непосредственно в грунте	Изменение геометрических размеров. На поверхности трения имеются риски, направление которых соответствует движению абразивных частиц	Взаимодействие абразивных частиц с поверхностью детали
Кавитационное	Трубопроводы, рабочие колеса насосов, детали, подвергающиеся водяному охлаждению	Появление на поверхности глубоких питтингов, которые, сливаясь, образуют сквозное отверстие	Воздействие жидкости при высоких скоростях движения детали
Гидроабразивное (газоабразивное)	Рабочие колеса, корпуса, детали насосов	Взаимодействие поверхности с твердыми частицами водяного или газового потока. Образование волн и рисок, направленных соответственно перпендикулярно и вдоль потока	Пластическое деформирование поверхностных слоев
Гидроэрозионное	Рабочие поверхности корпусов насосов	Эрозия поверхностного слоя. Отслаивание и выкрашивание материала	Механическое воздействие потока жидкости или газа

2.2. Молекулярно-механическое			
Заедание	Детали сборочных единиц, воспринимающие большие удельные давления	Адгезия, глубинное выравнивание частиц металла из контактирующих поверхностей	Взаимодействие трущихся поверхностей в условиях трения без смазки или при граничной смазке
2.3. Коррозионно-механическое			
Окислительное	Валы, цапфы	Постепенное насыщение поверхностных слоев кислородом и образование неупорядоченных твердых растворов и эвтектик химических соединений его с металлом	Взаимодействие поверхностей при взаимном притяжении и перемещении окисляющихся подвижных слоев
Фреттинг и фреттинг-коррозии	Болтовые и заклепочные соединения, подшипники, шестерни, муфты и другие детали, находящиеся в подвижном контакте	Возникновение на контактных поверхностях коррозионных повреждений в виде отдельных пятен или полос небольшой глубины	Непрерывное разрушение защитной окисной пленки в точках подвижного контакта
Электроэрозионное	Электроды свечей, коллекторы генераторов, контакты прерывателей, токопроводящие детали	Механическое деформирование поверхности и разрушение зерен металла	Воздействие разрядов при прохождении электрического тока

При этом к концу периода приработки достигается оптимальная шероховатость, обеспечивающая минимальный износ. Целесообразно обеспечить на поверхности деталей шероховатость больше оптимальной. Удлинение периода приработки и возрастание начального износа в этом случае компенсируется сокращением производственных затрат. Для выбора оптимальной исходной шероховатости рекомендуется использовать математико-статистический метод. В табл. 2 приведены некоторые нормы на шероховатость (R_a) поверхности деталей.

Особое значение степень шероховатости обработки поверхности имеет для обеспечения прочности неподвижных посадок. Важен правильный выбор соотношения между высотой неровностей R_z и полем допуска δ . Это соотношение рекомендуется выбирать в зависимости от вида посадок: для прессовых – $R_z = (0,11-0,12) \delta$; переходных – $R_z = (0,08-0,11) \delta$; движения – $R_z = (0,05-0,07) \delta$.

При выборе соотношения учитываются и диаметры детали $\varnothing 50$ мм и более R_z

$$=(0,1-0,15) \delta ; \text{Ø}18-50 \text{ мм} - R_z = (0,15-0,20) \delta ; \text{Ø}<18 \text{ мм} - R_z = (0,20-0,25) \delta .$$

Таблица 2

Рекомендуемые нормы на шероховатость поверхности деталей

Деталь	Автомобиль	Трактор
Коленчатый вал	0,2	0,8
Поршень:		
Юбка	1,6	1,6
отверстие под палец	0,8	1,6
Канавки	0,8	3,2
Поршневой палец	0,16	0,4
Поршневое кольцо (торцы)	0,8	1,6
Шатун:		
отверстие в малой головке	0,5	0,8
отверстие в большой головке	0,63	0,63
Толкатель	0,2	0,8
Гильза блока	-	0,4
Направляющая втулка клапана	-	3,2
Распределительный вал шейки и кулачка	-	0,8

Период установившегося износа характеризуется наиболее низкой средней скоростью процесса. Однако в этот период работы она не всегда сохраняется постоянной. Так, остановки работающих машин, их пуск, любое изменение нагрузки и скоростного режима оказывают влияние на условия трения сопряженных поверхностей. Это способствует переходу их работы в фазы граничной смазки и трения без смазки. Процесс изнашивания протекает стационарно и отклонения от средней скорости не влияют на общую линейную зависимость износа от наработки. В этот период имеет место допустимый (нормальный износ).

При переходе к этапу усиленного износа интенсифицируются процессы повреждаемости, т. е. развиваются недопустимые явления, приводящие к быстрому выходу деталей из эксплуатации.

Разные формы повреждаемости отличаются кинетикой и механизмом их развития.

Период усиленного износа наступает после того, как зазоры в подвижных сопряжениях достигают значений, при которых оказывается затруднительным заполнение их смазкой. Возникают ударные нагрузки, вызывающие дополнительное деформирование деталей, что увеличивает скорость изнашивания. Изменения линейных размеров деталей могут привести к снижению прочности и устойчивости (длинномерные детали), их деформации. Это уменьшит безопасность и эффективность работы машин.

Работоспособность материалов в условиях трения в значительной мере определяется структурными изменениями, формируемыми при эксплуатации и, зависящими от характера изнашивания или повреждаемости.

В реальных условиях выделить известные механизмы износа в чистом виде довольно сложно. Как показал проведенный анализ, при эксплуатации деталей в их рабочем слое в зависимости от материала имеет место пластическая деформация, диффузия, процессы молекулярного и атомного сцепления, фазовые превращения, хрупкое разрушение, окисление, графитизация. Причем в отдельных случаях наблюдаемые структурные изменения происходят одновременно. Структурообразование на поверхности трения существенно изменяется от условий эксплуатации: температурного режима, удельных давлений; скорости снижения пути, трения и других факторов.

Структурные изменения на поверхности трения требуют особого внимания при ремонте деталей, т. к. в этом случае необходимо перед восстановлением четко определить величину съема поврежденного слоя и технологию его стабилизации в эксплуатации. Учитывая это, представляют интерес исследования условий и возможных механизмов развития различных видов износа и повреждаемости.

Разработка типизации, классификации и унификации деталей по группам позволяет наиболее эффективно осуществлять организационную и технологическую подготовку производства, а также подбирать наиболее рациональные методы их восстановления. Такой научный подход обеспечит создание типовых технологических и конструктивных разработок, позволит постоянно их совершенствовать и быстро перенастраивать производство на восстановление деталей близкой номенклатуры, а также выдвигать единые требования к качеству, в том числе и при использовании принципиально новых технологических процессов.

В работе [2], исходя из условий эксплуатации, деталей и назначения восстанавливаемой поверхности предложена структурно-логическая схема конструктивно-технологических параметров деталей и их взаимосвязь (рис. 1). Это позволяет характеризовать работу детали, загруженность ее поверхностей при эксплуатации узла и машины.

Структурно-логическая схема дает полную характеристику детали и условий ее работы. К числу параметров относятся: форма, размеры, материал, масса, наличие дефектов и износа. Важной характеристикой детали является ее физико-механические свойства, точность, шероховатость, степень упрочнения рабочей поверхности.

При восстановлении особое значение приобретает не только прочность восстановленной поверхности, но и детали в целом, поскольку, разогревая рабочий слой при термической или химико-термической обработке, наплавке, в отдельных случаях и при использовании высокоэнергетических источников энергии имеет место разупрочнение переходного слоя, сердцевины, что может нарушить ее служебные характеристики, в частности снизить жесткость, т. е. привести к потере формы, поломкам. Так, при изгибе вала опорные его участки (цапфы) перекашиваются в подшипниках, происходит неравномерный и повышенный износ вкладышей. Это, в свою очередь, приводит к перегреву и заеданию в подшипниках скольжения, снижает их долговечность. Недостаточная жесткость деталей зубчатых передач приводит к неравномерному распределению нагрузки по длине контактных линий зубьев. В этих случаях возможны их поломки.

Весьма важным условием работоспособности узлов при эксплуатации деталей машин является сохранение их работоспособности в заданном температурном режиме. Это обеспечивается достаточной теплостойкостью материала.

Оценивая износ основных деталей машин и оборудования, следует отметить, что наибольшее их число 80...83% имеют износ до 0,6 мм. При этом износ до 0,2 составляет 10...12%, до 0,3 – 10% до 0,4 – 1,0%, до 0,5 – 5,0% до 0,6 – 3,0% деталей.

По характеристике поверхности износ различных групп деталей характеризуется следующим образом: цилиндрическая – 52...53,3%; коническая и сложнопрофильная – 4%; шлицевая – 3...10% паз, канавка, лыска – 5%; резьбовая – 10...13%; плоская – 1...6%; зубчатая – 2...10,2%. Трещины, выкрошки, поломки имеют место у 9% деталей, а нарушение геометрических размеров и формы – у 13%.

Дефекты поверхностей деталей делятся на группы по несоответствию: размеров (до 75%), формы (до 18%), шероховатости (до 4,0%), физико-механических свойств (до 2%), нарушению сплошности (до 1%). Из этого следует, что для восстановления деталей основным методом является наращивание изношенного слоя.

Выводы

В результате выполненного анализа отказов деталей в эксплуатации предложена классификация их повреждаемости, которая может служить основой для разработки типовых технологических процессов их восстановления.

Литература

1. Скобло Т.С. Особенности структурных изменений на поверхности трения / Т.С. Скобло // Сб. Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. - Харьков, 1997. - с. 4-10.
2. Відновлення деталей машин. / Н.В. Молодик, Б.А. Лангерг, А.К. Бредун – Київ: «Урожай», 1989. – 256 с.

Sidashenko A.I., Skoblo T.S. Analysis of premature wear and destruction the machine parts of agricultural machinery

Analyzed the main reasons for rejection of parts of agricultural machinery in operation, a classification of their defectiveness was performed in work. This classification can serve as a basis for the development typical technological processes of restoration of details.

Keywords: extra earnings surface, wear of, durability, the repair parts, physical and mechanical properties, surface roughness, surface defects friction.

References

1. Skoblo T. S. Osobennosti strukturnyh izmenenij na poverhnosti trenija / T. S. Skoblo // Sb. Povyshenie nadezhnosti vosstanavlivaemyh detalej mashin. - Har'kov, 1997. - s. 4-10.
2. Vidnovlennja detalej mashin. / N. V. Molodik, B. A. Langerg, A. K. Bredun – Kiiv: «Urozhaj», 1989. – 256 s.