

УДК 621.891

М. И. ДЕНИСЕНКО¹, О. В. ЗАИМКО¹, В. Ф. ЛАБУНЕЦ², В. В. ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ²¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины²Национальный авиационный университет, Украина

РОЛЬ ВТОРИЧНЫХ СТРУКТУР ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выполнено исследование поверхностей трения и состава вторичных структур, образовавшихся при абразивном изнашивании конструкционных материалов. Выявлены новые, не характерные для классической термодинамики, вторичные структуры

Ключевые слова: абразивное изнашивание, поверхность трения, вторичные структуры, трибосистема, кислород

Введение. Для многих видов контактных взаимодействий при внешнем трении абразивное изнашивание является основным. Как жидкостная, так и газовая среда, в которых происходит трение деталей машин, неизбежно содержит абразивные примеси. Процесс абразивного изнашивания широко распространен при работе деталей и рабочих органов сельскохозяйственных машин. Трение твердых тел либо их контакт с движущейся газообразной или жидкой средой сопровождается изменением их линейных размеров.

При абразивном изнашивании формирование частиц износа происходит в результате малоциклового усталости, которая развивается в материале поверхностного слоя при его многократной пластической деформации зёрнами абразива, а количество разрушаемого вещества зависит от размеров абразивных зёрен и толщины наклепанного слоя [1]. Проблеме абразивного изнашивания посвящено большое количество работ. Оказались практически неучтенными трибохимические процессы вторичного структурообразования, имеющие решающее значение при абразивном изнашивании деталей машин в присутствии абразивных сред.

Состояние проблемы. Абразивное изнашивание в подавляющем большинстве исследований [2] рассматривалось как механическое воздействие твердых абразивных частиц на трущейся материал. Однако, как отмечается в [3] в ряде случаев наблюдается иной процесс, в частности налипание абразива на обрабатываемую поверхность в результате возникновения химического взаимодействия или деформации.

Б.И. Костецкий [4] считает, что форма и механизмы разрушения при абразивном изнашивании определяются взаимодействием поверхностей трения с абразивной средой, сущность которого заключается в скольжении частиц, внедрении их в местах контакта, пластическом деформировании металла, разрушении поверхностных объемов без отделения металла или со снятием микростружки. При этом выделяет две четко выраженные формы проявления абразивных процессов, отличающихся характером взаимодействия частиц с поверхностью металла:

- с преобладанием механохимического разрушения (пластическое деформирование поверхностных объемов, их окисление и последующее разрушение образующихся пленок); эта форма является разновидностью механохимического окислительного износа;

- с преобладанием механического разрушения металла поверхностных слоев (внедрение абразивных частиц и разрушение поверхностных объемов металла без

отделения частиц основного металла или со снятием микростружки); эта форма относится к недопустимым при внешнем трении процессам повреждаемости.

Проведенные С.Л. Нумовым исследования большого количества изношенных деталей машин [5], не подтвердили чисто механического характера их разрушения. Трущиеся поверхности лемехов, отвалов и др. приобретают высокое качество поверхности и блеск. Основную роль в этих случаях играют химические процессы – частицы при трении не вызывают пластической деформации поверхностных слоев исходного металла, а разрушению, в результате многократного действия частиц, считает автор, подвергаются вторичные структуры (ВС) в виде окисных пленок или иных пленок, возникающих в граничных слоях металла.

Первые работы по вопросу о влиянии кислорода воздуха на износ были выполнены в 1930 году немецким ученым Максом Финком [6], являющимся одним из основоположников трибохимии. Им впервые было установлено наличие закиси железа на поверхности трения. Пленки оксидов исследовал известный американский металловед С. Розенберг, который указал на защитную роль пленки оксида, возникающей при трении. Продолжением работ М.Финка являются теоретические исследования проф. Х.Краузе [7]. Частицы износа в его экспериментах состояли из α – Fe_2O_3 . При увеличении влажности атмосферы могут отделяться частицы из чистого железа. Скорость роста пленки доходит до 300 Å/мин.

Главная особенность механизмов образования ВС при абразивном трении состоит в решающем воздействии структурной активации на кинетику этого процесса [8; 9]. Вторичные структуры I типа так же, как и «слои Бейльби», нужно рассматривать как пересыщенные твердые растворы кислорода в пластически деформированных, поверхностно-активных объемах металла. Эта точка зрения представляется наиболее достоверной [6].

Согласно данным [10] скорость роста пленок при абразивном изнашивании может достигать 400 Å/мин. Вначале образовавшаяся тонкая пленка окислов обладает высокой прочностью и защищает контактирующие материалы от схватывания. По мере увеличения толщины пленки, прочность сцепления окисной пленки с подложкой ослабевает. После критической толщины оксид становится механически неустойчивым и внезапно разрушается [11].

Обзор существующих представлений о механизмах и видах абразивного изнашивания показал, что большинство авторов рассматривают абразивные процессы при трении как явления царапания, соскабливания, внедрения, пропахивания и снятия микростружки, т.е. как процессы чисто механические.

Постановка задачи. В данной статье рассмотрены следующие вопросы:

- новые экспериментальные данные о механизмах разрушения, структурообразовании и трибохимических процессах при трении в абразивной среде;
- новые данные об окислительных процессах при абразивном изнашивании, полученные путем прямого определения элементного состава поверхностей трения, в частности, количества кислорода, непосредственно участвующего в процессах окислительного и абразивного изнашивания;

Цель работы. Исследование поверхностей трения и состава вторичных структур, образовавшихся при абразивном изнашивании конструкционных материалов.

Материалы и методы исследований. В качестве детали, эксплуатируемой в агрессивной среде исследовали гусеницу трактора Т-150.

Испытания на трения и изнашивание в условиях абразива проводили на установке и по методике [12].

При исследовании поверхностей трения использовали оже-спектрометр JAMP – 10S (JEOL)

Исследование образцов после испытания осуществлялось на электронно-растровом микроскопе РЭМ – 106И.

Результаты исследований и их обсуждение. При испытании образцов из стали 65Г в среде кварцевого песка зернистостью 250 мкм наблюдается образование оксидных структур, что подтверждается на рис. 1.

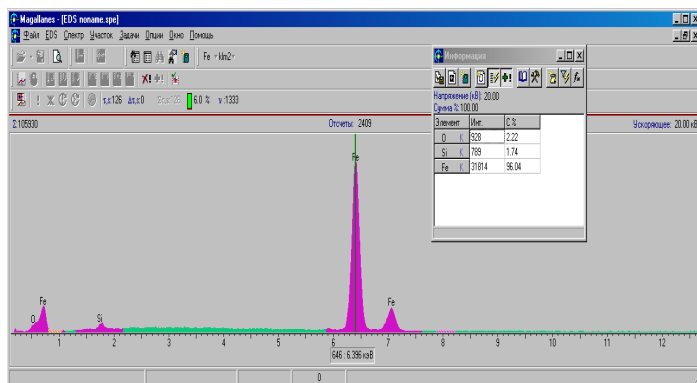


Рис. 1. Химический анализ в зоне трения

Изучая продукты изнашивания можно сказать, что снижение интенсивности изнашивания связано с образованием оксида Fe_2O_3 , который препятствует повреждению поверхности трения. Наличие в продуктах износа оксидов установлено при трении в сухом состоянии. Это происходит за того, что в обычных условиях на поверхности такой стали образуется защитная пленка из оксидов компонентов стали, которая предупреждает миграцию атомов железа к поверхности. В условиях трения, когда непрерывно разрушается пленка, такая защита является неэффективной.

В условиях работы пары (палец гусеницы, проушина траки гусеничной цепи), т.е. при трении стальных поверхностей без смазки, реакционная способность поверхностных объемов достигает значительных величин. Происходит мгновенное окисление поверхностных слоев с образованием тонких защитных пленок ВС. Деформационные окислительные процессы, происходящие в зоне контакта, в результате действия абразивной среды интенсифицируются.

Структура поверхностей трения пальца гусеницы трактора после эксплуатации представлена на рис. 2, а. В процессе эксплуатации происходит шаржирование поверхности детали твердыми частицами почвенного абразива. Распределения кремния на поверхности гусеничного пальца после эксплуатации показано на рис. 2, б.

Область характеризуется повышенным содержанием кислорода, количество которого доходит до 30 %. На рис. 3 представлен характерный ОЖЕ-спектр химического состава поверхности пальца гусеницы, соответствующий времени травления 20 минут.

Из рис. 4 видим, что количество кислорода на глубине 0,2...0,25 мкм выше, чем на поверхности (10...12 %). Концентрация углерода (область I) с повышением времени травления уменьшается, а железа увеличивается. В поверхностном слое пальца гусеницы обнаружено наличие кремния в пределах 3...5.

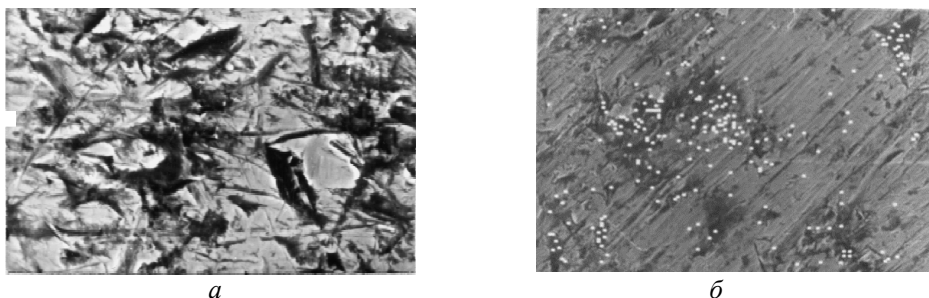


Рис. 2. Структура поверхностей трения пальца гусеницы трактора после эксплуатации (а) и распределения кремния на ее поверхности трения (б)

В области II (рис. 4) элементный состав стабилизируется и является обычным для исходного материала детали (сталь 65Г). Кремния в этой области не обнаружено.

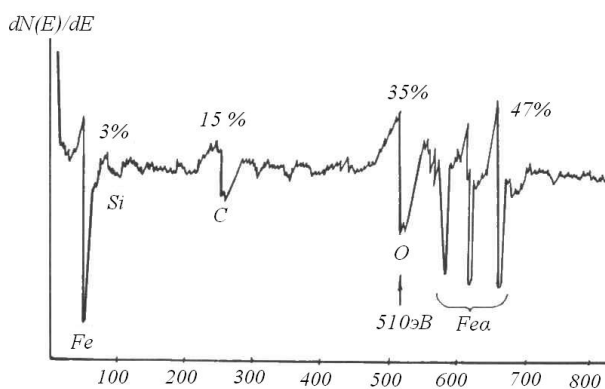


Рис. 3. Оже-спектр химического состава поверхностного слоя пальца гусеницы после эксплуатации

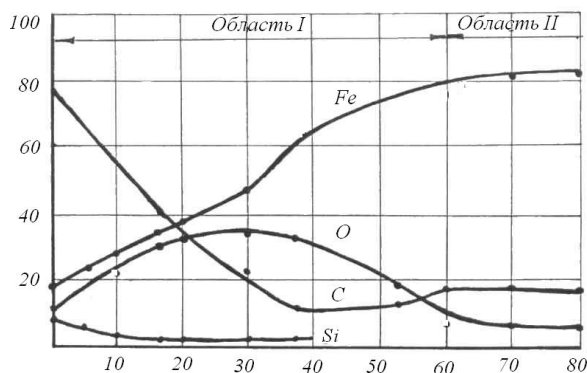


Рис. 4. Распределение химических элементов в поверхностном слое пальца гусеницы (сталь 65Г) после эксплуатации в зависимости от времени травления

Выводы. В условиях абразива на рабочих органах сельскохозяйственных машин происходит мгновенное окисление поверхностных слоев с образованием тонких защитных пленок – вторичных структур.

Список литературы

1. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев / И.Д.Ибатуллин. – С.: Самарский государственный технический университет, 2008. – 573 с.

2. Крагельский И.В. Основы расчета на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов: М: Машиностроение, 1977. – 542 с.;
3. Чернец М.В. Трибомеханика, триботехника, триботехнология. Том 1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении / М.В. Чернец, Л.П. Клименко, М.И. Пашечко, А. Невас. – 2006. – Николаев. – Изд-во НТТУ им. Петра Могилы. – 472 с.;
4. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.;
5. Наумов С.Л. Исследование сопротивления металлов абразивному изнашиванию / С.Л. Наумов. – Киев: КИГВФ, 1960. – 24 с.;
6. Fink M. Wear Oxidation a New Component of Wear. Trans. Amer. Soc for Steel Treating, vol. 18, 1930, p. 1026–1034.
7. Krause H.R. Tribomechanical Reaction in the Friction and Wearing Process of Iron. Wear, vol. 18, N 3, 1971, p.403–412.
8. Пинскер З.П. Дифракция электронов. / З.П.Пинскер. –М., Изд-во АН СССР. 1949.403 с.
9. Осипов К.А. Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы. / К.А.Осипов. –М.: Наука, 1972. –76 с.
10. Палатник Л.С. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок /Л.С.Палатник., М.Я.Фукс., В.М.Косевич.-М.: Наука, 1972. –320 с.
11. Quinn, T.Application of the Oxidational Theory Hild Wear to the Slidin Wear of Low-Alloy Steel / T.Quinn, D.M.Rowson // Wear, 1980. –Vol.85. –P.1–20.
12. Лабунец В.Ф. Зносостійкість сталі 65Г в умовах абразивного зношування / В.Ф. Лабунец, М.І. Денисенко, В.В. Загребельний // Проблеми тертя та зношування. – 2015. – 1 (66). – с. 113–117.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2015

М. І. ДЕНИСЕНКО, О. В.ЗАЗИМКО, В.Ф. ЛАБУНЕЦЬ, В.В.ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ

РОЛЬ ВТОРИННИХ СТРУКТУР ПРИ АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Виконано дослідження поверхонь тертя і складу вторинних структур, що утворилися при абразивному зношуванні конструкційних матеріалів. Виявлені нові, не характерні для класичної термодинаміки, вторинні структури

Ключові слова: абразивне зношування, поверхня тертя, вторинні структури, трибосистема, кисень

М. І. DENYSENKO, O.V. ZAZIMKO, V. F. LABUNETS, V. V. ZAGREBELNIY

ROLE OF SECONDARY STRUCTURES IN CONSTRUCTION MATERIALS ABRASIV WEAR

The research of the friction surfaces and the composition of the secondary structures formed by abrasive wear of construction materials. Revealed new, not typical of classical thermodynamics, secondary structures

Keywords: abrasive, friction surface, secondary structures, tribosystem, oxygen.

Денисенко Николай Иванович – канд. техн. наук, доцент Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

Зазимко Оксана Владимировна – канд. техн. наук, доцент Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

Лабунец Василий Федорович – канд. техн. наук, профессор кафедры машиноведения Национального авиационного университета.

Загребельный Владимир Викторович – аспирант кафедры машиноведения Национального авиационного университета.