

скопа. Это техническое решение позволит расширить функциональные возможности сканирующей зондовой микроскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Springer Handbook of Nanotechnology / ed. By B. Bhushan. Berlin : Springer – Verlag, 2004. – 1222 p.
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М. : Техносфера, 2004. –144 с.
3. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. – М. : Машиностроение, 2007. – 496 с.
4. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. Перевод с японск. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с.
5. Леонов М.Я. Механика деформаций и разрушения. Физико-математические основы теории. – Фрунзе: ИЛИМ, 1981. – 237 с.
6. Мезон У. Измерение низко- и высокоамплитудного внутреннего трения в твердых телах и их связь с движением несовершенств строения. В кн.: Микропластичность. Пер. с англ Е.К. Захарова, В.П. Калинина, Ю.А. Рахштадта. Под ред. В.Н. Геминова и А.Г. Рахштадта. – М. : Металлургия, 1972. – с. 236-301.
7. Научное открытие (Диплом № 258) // Закономерность аддитивности упругого последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г.С. Ивасышин. – М. : РАЕН, МААНОИИ, 2004.
8. Научное открытие (Диплом № 277) // Закономерность аддитивности магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасышин. – М. : РАЕН, МААНОИИ, 2005.
9. Научное открытие (Диплом № 289) // Закономерность аддитивности диффузионного магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов / Г.С. Ивасышин. – М. : РАЕН МААНОИИ, 2005.
10. Научное открытие (Диплом № 302) // Закономерность аддитивности водородного магнитного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасышин. – М. : РАЕН, МААНОИИ, 2006.
11. Ивасышин Г.С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии и основы квантовой теории трения. Сообщение 1 // Материалы XV Международной научно-методической конференции. – т. 1. 15-16 февраля 2008 года, г. Санкт-Петербург, СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2008. – с. 223-225.
12. Ивасышин Г.С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии и основы квантовой теории трения. Сообщение 2 // Материалы XV Международной научно-методической конференции. – т. 1. 15-16 февраля 2008 года, г. Санкт-Петербург, СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2008. – с. 225-227.
13. Ивасышин Г.С. Ивасышин Г.С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии. Основы квантовой теории и нанотехники. Сообщение 1 // Материалы 6-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы качества машин и их конкурентоспособность». – Брянск : изд-во БГТУ, 2008. – с. 77-78.
14. Ивасышин Г.С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии. Основы квантовой теории и нанотехники. Сообщение 2 // Материалы 6-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы качества машин и их конкурентоспособность». – Брянск : изд-во БГТУ, 2008. – С. 79-80.
15. Способ определения коэффициента Пуассона. А.с. 848979, А1 МКИ G01 В 5/30, Бюлл. изобрет. 1981. №27 / Г.С. Ивасышин.
16. Способ определения модуля сдвига образцов материалов. А.с. 905717, МКИ G 01N 3/22, Бюлл. изобрет. 1982. № 6. / Г.С. Ивасышин.
17. Способ определения модуля упругости материала. А.с. СССР 905714, МКИ G 01N 3/20, Бюлл. изобрет. 1982. № 6. / Г.С. Ивасышин.
18. Способ определения динамической твердости. А.с. 1381367, А1 МКИ G01 N 3/48, Бюлл. изобрет. 1988. – №10. / Г.С. Ивасышин.
19. Способ определения упругого последействия материала. А.с. 1000839, А1 МКИ G01 N 3/08, Бюлл. изобрет. 1983. – №11. / Г.С. Ивасышин.

Г.С. ИВАСЫШИН, М.М. РАДКЕВИЧ, С.Г. ЧУЛКИН

ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются релаксационные процессы в зоне фрикционного контакта твердых тел. Все процессы релаксации – неравновесные процессы (физические процессы, включающие неравновесные состояния теплопроводности, диффузии, вязкого течения), сопровождающиеся возрастанием энтропии системы.

Триботехнические характеристики узлов трения наравне с конструкцией машин, качеством их изготовления, режимом эксплуатации и другими аспектами оказывают существенное влияние на многие экономические и экологические показатели работы машин, механизмов и технологического оборудования.

Потери от трения и износа в развитых государствах достигают 5...6% националь-

ного дохода, а преодоление сопротивления трения поглощает во всем мире 20...25% вырабатываемой в год энергии.

Повышение экономически и экологически целесообразной долговечности и надежности машин, технологического оборудования и инструмента непосредственно связано с повышением износостойкости. Решение этой актуальной задачи возможно только на базе глубоких, научно-обоснованных знаний.

Термодинамика трения и изнашивания

«... В основе наиболее общего к исследованию процессов термодинамического подхода лежат законы сохранения и превращения энергии (первое начало термодинамики) и принцип увеличения энтропии при необратимых процессах (второе начало термодинамики). Абстрагируясь от физической структуры материалов и процессов, протекающих в трибосистеме, термодинамика оперирует энергетическими показателями и критериями, базирующимися на этих показателях» [2].

Академик РАН и РИА В.И. Колесников, академик МИА Ю.М. Лужнов, академик МИА и РИА А.В. Чичинадзе, в частности, считают, что «...на сегодняшний день можно выделить основные и актуальные разделы и направления трибологии и ее инженерных приложений – триботехники»:

- физико-химическая механика контактного взаимодействия тел с учетом влияния среды при ударе, скольжении и качении, а также при различных вибрациях;
- форсирование исследований в области микро- и нанотрибологии.

Лауреат Нобелевской премии по физике Ричард Фейнман заявлял: «Провести точные количественные эксперименты в трении весьма сложно, и законы трения, несмотря на огромное практическое значение точного анализа, до настоящего времени как следует не изучены..., с учетом всей проделанной работы удивительно, что до сих пор, не достигнуто более глубокого понимания вопроса».

Академик А.Ю. Ишлинский, характеризуя в 1998 г. состояние теоретической механики отметил, что в этой детально разработанной области современного естествознания остаются «две нерешенные до сих пор проблемы: проблема трения и проблема турбулентности».

В трибологических процессах часто наблюдаются процессы, являющиеся последствием суперпозиции поля напряжений, электромагнитного поля, теплового поля, диффузии, фазовых и структурных превращений и т.д.

Учёт гистерезисных эффектов необходим во многих проблемах: гистерезис в задачах управления и биологии, ферромагнитный и диэлектрический гистерезис в физике, пластический гистерезис в механике и т.д. [1].

Гистерезис в трибологических системах – физическое явление, заключающееся в том, что реакция системы (или ее элемента) на некоторые внешние воздействия различна, в зависимости от того, подвергалась ли система ранее данному воздействию или подвергается ему впервые.

В каждый данный момент гистерезисные свойства системы являются, таким образом, результатом его предшествующего состояния.

Для триботехнических систем характерны гистерезисы: упругий, магнитный, сорбционный и тепловой [2, 3, 4, 5, 6].

Если упругий гистерезис является следствием упругого последствия, то магнитный гистерезис является следствием магнитного последствия, сорбционный гистерезис является следствием сорбционного последствия, а тепловой гистерезис является следствием теплового последствия.

Узлы трения машин всегда подвергаются динамическим воздействиям.

Трущиеся контакты при определенных условиях, сами создают фрикционные колебания релаксационного типа, а для подшипников качения, зубчатых, цепных и ряда

других пар трения вибрация и шум являются их неотъемлемым свойством, обусловленным прерывистым контактом зацепления.

Динамические воздействия на трущиеся поверхности вызывают упругую и неупругую деформацию в зоне контакта, что является предметом изучения динамики контактирования.

При этом упругие деформации и упругий возврат локализуются на дискретных участках контакта, придают специфику проявлению контактной жесткости.

Импульсные воздействия вызывают не только колебания, но и поверхностные волны. Пластическая микродеформация создает тепловые флуктуации, а в совокупности все перечисленные процессы определяют рассеяние (диссипацию) механической энергии колебаний. Ее поглощение происходит в материале деталей и в окружающей среде.

При определенных условиях возникает режим контактного резонанса, который аномально повышает интенсивность пластической деформации и накопление повреждаемости.

При пластической деформации микровыступов поверхностные зерна поликристаллических материалов деформируются раньше и интенсивней, чем во внутренних объемах [7, 8].

Это ускоряет диффузионные процессы, перенос вещества, в том числе из глубины в поверхностные слои, а также из внешней среды и контрповерхностей данной пары трения, интенсифицирует структурно-энергетические явления в поверхностных слоях материала, усиливает электрохимические, акустические и другие явления [9, 10].

Атомарное взаимодействие контактируемых тел приводит к нарушению термодинамического равновесия кристаллических решеток.

Динамическое нагружение поверхностей трения физики справедливо называют механизмом накачки материала точечными и другими дефектами.

Не менее сложным является динамическое воздействие на смазочный слой – третье тело трибосистемы. В смазочном слое при вибрации проявляется его собственная упругость, зависящая от частоты воздействия. Смазочный слой рассеивает механическую энергию как активный демпфер.

Функция трибомеханических систем

«Из опытов в различных областях физики (диэлектрики, пара- и ферромагнетизм, упругость, акустика) становится все более очевидным, что эффекты последствия всегда обусловлены запаздывающим восстановлением термодинамического равновесия, которое было нарушено действием внешней силы. Такое восстановление, в общем случае осуществляется только с помощью процесса диффузии вещества или энергии».

«... изучение эффекта последствия дает нам сведения о механизме диффузии, следовательно, может способствовать лучшему пониманию того, что происходит внутри твердого тела».

Сноек Я., «Исследования в области новых ферромагнитных материалов»

Согласно И.В. Крагельскому, редактору перевода книги Д. Мура [11] «... следует обратить внимание, что термину «трибология» на русском языке соответствуют два термина – «трибоника», когда речь идет о науке, о трении и износе, и «триботехника», когда речь идет о техническом приложении теории трения и износа к инженерным задачам».

Чихос Х. считает, что «...трение, изнашивание и многие смежные явления важны вследствие динамического характера взаимодействия между движущимися деталями систем. Установлено, что применение системного подхода и общей теории систем особенно удобно для развития теоретического основания трибоники, поскольку позволяет объединить разные научные и технические дисциплины. Таким образом, трибомеханическая система должна описываться в рамках ее структуры (элементы системы,

свойства элементов, взаимосвязи между элементами), а также ее функции (входы, выходы, передаточные функции). В анализе электрических систем интерес сосредоточен главным образом на функциональных соотношениях между входом и выходом, а в трибонике основным является анализ и описание структуры (динамической) системы» [12].

Необходимо отметить, что «*фундаментальное свойство всех физических взаимодействий состоит в том, что существует единая мера для состояния взаимодействующих объектов и передаваемого при взаимодействии «импульса действия» – энергии» [13].*

Физические взаимодействия происходят путем передачи энергии, известен фундаментальный закон сохранения энергии, при этом, как правило, если обнаруживается «нарушение закона сохранения», то в последствии оказывается, что рассматривалась некорректная постановка, «искусственно изолированный» кусок физической системы и надо было просто изменить масштаб рассмотрения или «угол зрения», чтобы обнаружить, что никакого «нарушения сохранения» при этом не наблюдается. При этом взаимодействия происходят «достаточно плавно», бесконечных концентраций энергии не существует, фундаментальность закона сохранения импульса не удалось опровергнуть даже в мысленном эксперименте. То есть энергия «плавно перетекает», меняя свои формы в процессе взаимодействий.

При попытке применения системного подхода к явлениям трения, смазки и износа прежде всего следует отметить вопрос о функциональном техническом назначении рассматриваемой системы [12]. Трибомеханическая система представляется как целое, функциональное назначение которого связано с взаимодействующими поверхностями в относительном движении. Технические применения движущихся поверхностей охватывают широкий диапазон от аэрокосмических объектов до биомеханических суставов. Однако с физической точки зрения можно выделить четыре основные группы технических назначений.

Большинство общих технических назначений трибомеханической системы состоит в обеспечении движения в различных типах «подшипников». К другим основным группам относятся передача механической работы, передача информации, например, управление функциями машины при помощи кулачков, и формование материалов.

В абстрактном и сильно упрощенном описании функция различных трибомеханических систем состоит главным образом в преобразовании входов, например движения, механической энергии и материалов, определяемыми как потерями механической энергии и материалов, в используемые для технических целей выходы.

Функциональные причинно-следственные соотношения между входами и выходами сопровождаются потерями механической энергии и материалов, определяемыми как потери на трение и износ. С точки зрения внешнего окружения систему можно рассматривать как черный ящик с входами и выходами, показанный на рис. 1.

Техническая функция часто может быть выражена в виде соотношения между входом и полезным выходом. Не все входы могут быть желательны, некоторые из них рассматриваются как возмущения. Аналогично не все выходы желательны, некоторые из них с практической точки зрения считаются потерями.

Обычно часть функциональных входов, относящихся к возмущениям, приводит к потерям. Однако потери не всегда принадлежат к тому же типу величин, что и входы или полезные выходы.

Связывая систему с ее функцией, приходится иметь дело с рабочими переменными, которые регулируются конструктором или оператором, т.е. переменными, которые можно изменять до начала работы системы и во время ее работы, не изменяя ее физического состава путем выбора других материалов и форм элементов.

В табл. 1 приведен ряд рабочих параметров, с которыми придется иметь дело и которые можно рассматривать как рабочие переменные в окружении системы.

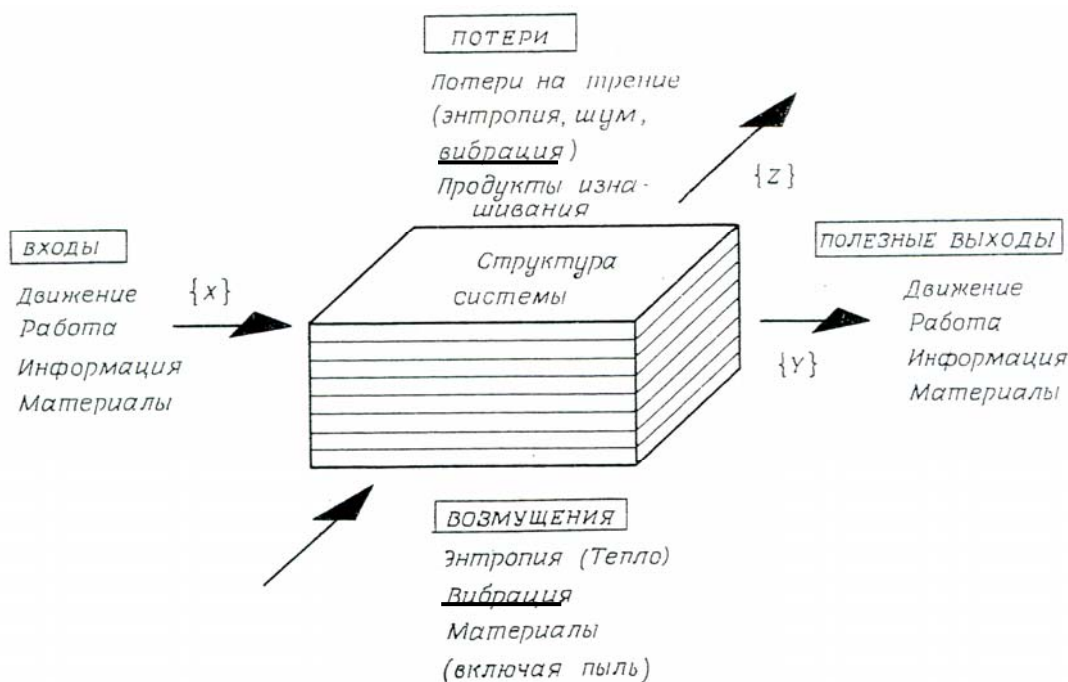


Рис. 1. Представление трибомеханических систем в виде черного ящика

Реальные переменные, используемые для описания связи между системой и ее окружением, до некоторой степени будут зависеть от рассматриваемой системы, но в основном будут связаны с перечисленными переменными или производными от них.

Таблица 1

Рабочие входы и выходы механических систем		
Входные и выходные величины	Первичные переменные	Соответствующие переменные и производные
Работа (Движение)	Сила, момент Положение, размер	Мощность Угловая скорость Линейная скорость
Тепло (Теплопередача)	Температура Удельная теплоемкость Удельная энтропия	Тепловой поток Производство энтропии
Масса (Массоперенос)	Состав Свободная энергия	Скорость переноса массы Скорость переноса свободной энергии
Информация	Положение Сила, момент	Частота Фаза

Структура трибомеханических систем

«... Поверхностные слои трущихся пар в процессе трения приобретают определенную степень упорядоченности или разупорядоченности.

Мерой такого состояния будет являться энтропийный критерий. В соответствии с термомеханическим критерием минимум производства энтропии соответствует состоянию структуры поверхностных слоев, приспособленных таким образом, что материал предельно сопротивляется разрушению».

Буше Н.А., «Трение, износ и усталость в машинах»

Согласно теории систем, структура системы характеризуется элементами или деталями, их необходимыми свойствами и их взаимосвязями [12]. Простейшая структура трибомеханической системы состоит из двух твердых тел 1 и 2, обменивающихся меха-

ническими входами и выходами через поверхность раздела в области их контакта.

Здесь следует сказать несколько слов о потоке одной или нескольких величин через систему, подразумеваемых под «входами» и «выходами», т.е. работы или массы. Поток массы, очевидно, представляет собой поток материальной величины. Однако «поток» других величин, например, работы, правильнее рассматривать как влияние одного элемента на другой, и утверждение «поток величины» будет, поэтому не более чем удобство, которое, кстати, помогает различить виды процессов, происходящих в системе.

Наиболее разумный способ обращения с различными типами величин состоит в рассмотрении каждой из них на собственной плоскости. Величины связаны друг с другом преобразованиями между соответствующими плоскостями. Это приводит к принципиально трехмерному внутреннему виду трибомеханической системы (рис. 2). Картину можно истолковать как разложение структуры системы (центральный ящик на рис. 1) на большое число деталей. Вероятно, все параметры, выявленные при изучении функции системы, будут представлены на функциональной плоскости, а также на плоскостях работы и тепловых процессов. Отдельные плоскости могут быть использованы для каждого вещества, участвующего в трибологических процессах, включая продукты химической реакции.

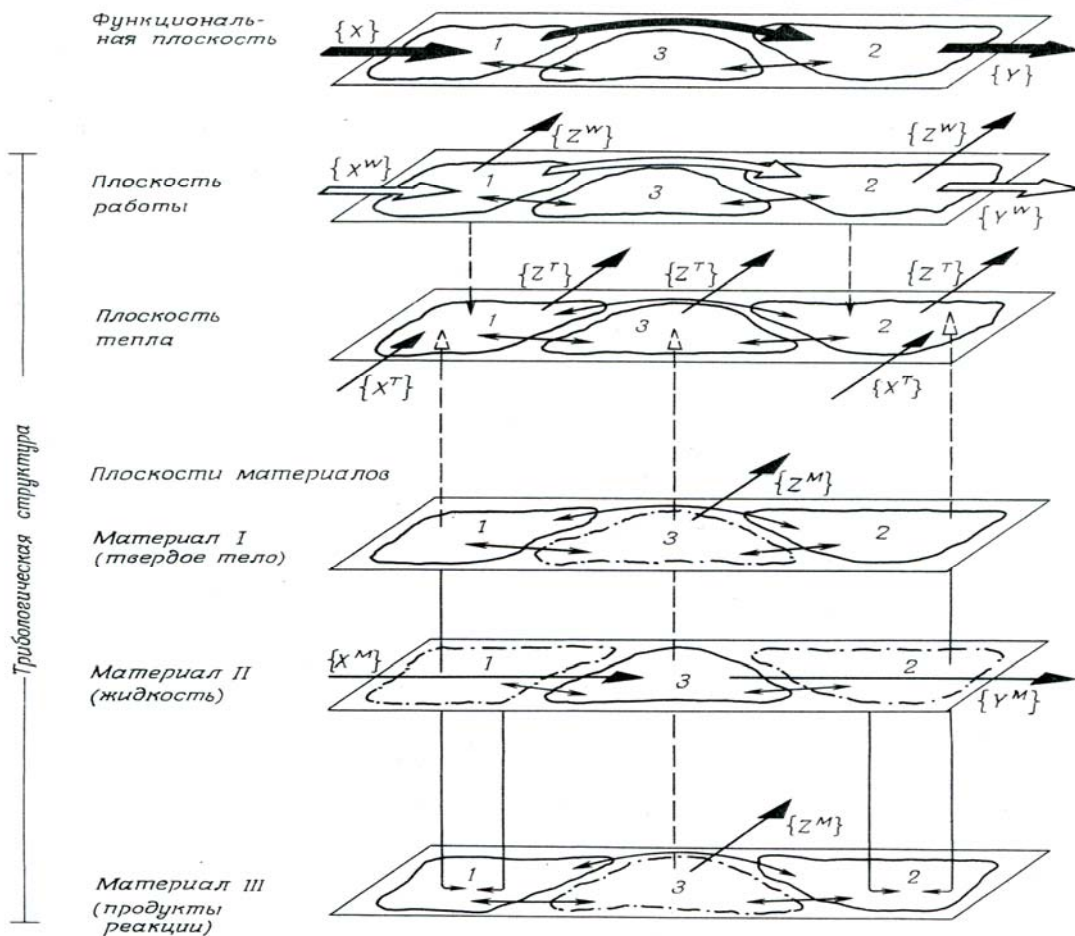


Рис. 2. Схема трибологического процесса: плоскости параметров и процессов в трибомеханической системе

На рис. 2 представлена очень «простая» система только из двух контактирующих твердых механических элементов, изготовленных из одного материала. Промежуточное пространство в области контакта является третьим элементом, т.е.:

- элемент 1 – первый элемент машины;
- элемент 2 – второй элемент машины;
- элемент 3 – промежуточный объем.

Возможные связи и процессы между тремя такими элементами в действительности достаточно сложны даже для этой элементарной системы. Здесь не предпринимается попытка отразить все возможные процессы на рис. 2, а ставится задача проиллюстрировать и классифицировать различные типы возможных процессов.

Рассмотрим сначала передачу технически используемых входов $\{X\}$ и выходов $\{Y\}$ системы. На каждой плоскости возможная передача такой величины от одного элемента к другому указана горизонтальными стрелками. Для подобных процессов передачи принят термин «перенос». Вертикальные сплошные стрелки на рис. 2 отражают преобразование материала или химических веществ, например в результате процессов износа внутри системы. Вертикальные штриховые стрелки указывают преобразование работы или механической энергии в тепло или энтропию в результате процессов трения внутри системы. Переносы массы, например поток смазки через систему, и преобразование массы в процессах износа также включают работу и сопровождаются одновременным преобразованием работы в тепло или энтропию, которое происходит на плоскости тепла.

Схема трибологического процесса, представленная на рис. 2; ясно показывает важность

системного подхода к анализу и описанию механических систем, в которых происходят процессы трения и износа.

Характерной особенностью трибоники является взаимодействие между различными плоскостями, изображенными на рис. 2.

В то время как для анализа процессов в отдельных плоскостях можно применить обычные методы.

Здесь уместно указать на роль смазочного материала в трибонике. Смазочный материал преднамеренно применяется для исключения или снижения влияния трения и износа на механическую систему [12].

Необходимо акцентировать внимание на том, что релаксация в смазочных материалах – потеря упругих свойств смазочного материала под действием нагрузки во времени [4]. Периодом релаксации называется время, в течение которого смазочный материал под действием нагрузки проявляет упругие свойства.

Поскольку смазочный материал покидает систему, он может действовать как охлаждающая среда, отводя тепло от участков, где происходит процесс трения. Если поверхности скольжения или качения, т.е. элементы 1 и 2 на рис. 2 все время полностью разделены благодаря влиянию элемента 3, то процесс износа может отсутствовать. В этом случае анализ упрощается, так как не нужно рассматривать перенос между плоскостями материалов (рис. 2) («безыносная модель»). Однако если имеется контакт между поверхностями смазанных элементов 1 и 2 или между граничными слоями смазочного материала на поверхностях, то первостепенную важность приобретают процессы на плоскостях материалов и между ними. В таких случаях наличие смазочного материала может усложнить анализ по сравнению с несмазанной системой, поскольку образующиеся продукты реакции сложны и трудно поддаются определению и поскольку главные трудности могут заключаться в нестационарности условий.

Заключение

Анализ трибомеханической системы с системной точки зрения, иллюстрируемый диаграммой трибологического процесса на рис. 2; ясно показывает, что характерной особенностью трибоники является взаимодействие между различными плоскостями (рис. 2) [12].

Данный анализ иллюстрирует не только сложность трибоники механических систем, но и неизбежный междисциплинарный характер усилий, требуемых для их изучения.

Итак, работа конструктора или технолога происходит на «функциональной плоскости» (рис. 2), инженер-механик будет иметь дело с анализом процессов на плоскостях работы и тепла. Этот анализ также находится в сфере интересов физика. Физики и материаловеды исследуют процессы на плоскостях материалов, а химики и инженеры-химики занимаются взаимосвязями между плоскостями материалов, т.е. химическими реакциями, вызывающими преобразование материала.

Однако специалисты всегда ищут возможности каким-то образом систематизировать свои знания и практический опыт. Учитывая сложность трибологических процессов, можно утверждать, что общее теоретическое основание трибоники, опирающееся на системное мышление, вероятно, будет наилучшим из всех возможных способов систематизации.

Анализ показывает, что удовлетворительное описание трибомеханической системы будет давать ясное представление о связях элементов системы, процессов, происходящих между ними, и их соответствующих свойств с рабочими переменными, входами и выходами, в частности с конкретной функцией системы.

На основе научных открытий [14, 15, 16, 17] изменяются, в частности, представления о подходах к анализу и описанию структуры триботехнической (трибомеханической) системы.

Анализ трибомеханической системы с системной точки зрения, иллюстрируемый диаграммами трибологического процесса (рис. 1, 2) показывает, что трибомеханической системе характерно не только трибодинамическое последствие, но и изменение энтропии трибодинамического последствия триботехнической системы, заключающееся в том, что под нагрузкой энтропия трибодинамического последствия триботехнической системы уменьшается вследствие направленного движения дислокаций в зону контакта из упругих и пластических областей твердых тел, а без нагрузки энтропия трибодинамического последствия триботехнической системы в зоне контакта увеличивается вследствие беспорядка в движении дислокаций в упругих и пластических областях твердых тел и переходом трибодинамического последствия триботехнической системы от менее вероятного состояния к более вероятному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красносельский М.А., Покровский А.В. Системы с гистерезисом. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 272 с.
2. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для технических вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2001. – 664 с.
3. Ивасьшин Г.С. Нанотрибология и гистерезисные явления в трибосистемах. // Труды Псковского политехнического института, № 9.3. – Псков : Изд-во ППИ, 2005. – с. 265 -271.
4. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун, отв. ред. И.М. Федорченко. АН УССР. Ин-т проблем материаловедения. 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Изд-во Наук Думка, 1990. – 264 с.
5. Ивасьшин Г.С. Гистерезисные явления в триботехнических системах. // Труды Псковского политехнического института, № 11.3. – Псков : Изд-во ППИ, 2008. – с. 215-217.
6. Ивасьшин Г.С. Изменение энтропии информационного последствия триботехнической системы. Сообщение 1, 2 // Труды Псковского политехнического института. № 12.3. – Псков : Изд-во ППИ, 2009. – с. 190-202.
7. Радкевич М.М. Влияние условий охлаждения на механические свойства сталей при ПМТО // Вестник машиностроения, 1999. – №12. – с. 50-53.
8. Радкевич М.М. Особенности формирования очага пластической деформации в условиях ДТО // Металлообработка. 2005. – №6 (30). – с. 24-27.
9. Чулкин С.Г. Влияние сульфитирования на износостойкость и противозадирные свойства стальных и чугунных деталей узлов трения железнодорожного транспорта // Труды Второго Международного Симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2002». – СПб. : Изд-во «Нестор», 2002. – с. 174-185.
10. Чулкин С.Г. Влияние химико-термической обработки на износостойкость газотермических покрытий // В кн. Методы прикладной математики в транспортных системах: Сб. науч. тр. – СПб : СПГУВК, 1998. – с. 247-256.
11. Мур Д. Основы применения трибоники. Пер. с англ. С.А. Харламова. – М. : Мир, 1978. – 488 с.
12. Чихос Х. Системный анализ в трибонике. Пер. с англ. С.А. Харламова. – М. : Мир, 1982. – 352 с.
13. Вертешев С.М., Поляков А.О. От «фон Неймановского» компьютера к метамашине. – Псков : Изд-во ППИ, 2007. – 512 с.
14. Научное открытие (Диплом № 258) // Закономерность аддитивности упругого последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г.С. Ивасьшин. – М: РАЕН, МААНОиИ, 2004.
15. Научное открытие (Диплом № 277) // Закономерность аддитивности магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасьшин. – М. : РАЕН, МААНОиИ, 2005.
16. Научное открытие (Диплом № 289) // Закономерность аддитивности диффузионного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов / Г.С. Ивасьшин. – М. : РАЕН, МААНОиИ, 2005.
17. Научное открытие (Диплом № 302) // Закономерность аддитивности водородного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г.С. Ивасьшин. – М. : РАЕН, МААНОиИ, 2006.