

ГИСТЕРЕЗИС В ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматриваются релаксационные процессы в зоне фрикционного контакта твердых тел.

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** [1,2,3].

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

Обнаружение среди действующих при трении фактора водорода, влияющего на износ, существенно изменило представление о природе трения и износа [4].

Тепловые, электрические, магнитные явления при трении, которые управляют концентрацией водорода, оказались, способны управлять износом.

В этой связи можно сделать вывод о том, что **концентрация водорода зависит**, в частности, от **теплопроводности и электропроводности металла**.

В то же время необходимо отметить, что **факторы, определяющие теплопроводность и электропроводность, одинаковы - движение электронов в металле. Причем, чем меньше помех для движения электронов, тем лучше проводимость** [5].

Профессор Д.Н. Гаркунов считает, что электрические, магнитные, вибрационные и тепловые явления при трении влияют на износ поверхностного слоя, как силы, управляющие движением и концентрацией водорода.

Водородное изнашивание возникает в результате кооперативного (синергетического) взаимодействия поверхностных явлений: **экзоэмиссии, адсорбции и трибодеструкции**, которые приводят к выделению водорода.

Трение, повышая энергию решетки металла, снижает работу выхода электронов и в зависимости от среды и режима нагрузки вызывает возникновение **экзоэлектронной эмиссии**.

Силы, которые стремятся удержать атомы в положении равновесия, приближенно можно считать пропорциональными их относительным смещениям, как если бы атомы связаны упругими "пружинками" (рис. 1).

Представление кристалла в виде совокупности частиц, связанных упругими силами, называется **гармоническим приближением** [6].

В действительности межатомные "пружинки" не являются строго линейными, а **колебания - строго гармоническими (ангармонизм)**.

Под колебаниями атомов и ионов подразумеваются колебания массивных по сравнению с электронами атомных ядер. Это позволяет приписать к кристаллу потенциальную энергию, зависящую от координат ядер (**адиабатическое приближение**).

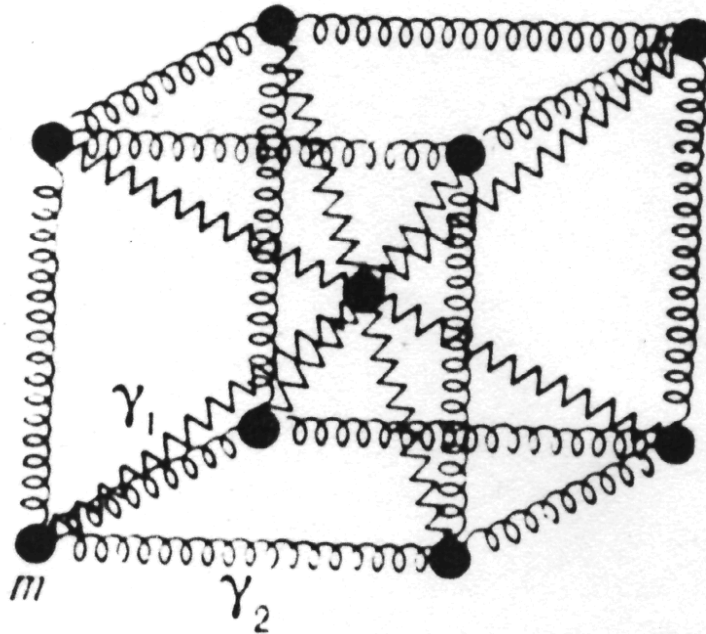


Рис. 1. Представление объемно-центрированного кубического кристалла в виде совокупности частиц массы m , связанных друг с другом "пружинками" с жесткостью γ [6].

Нелинейность межатомных "пружинок" мала (малы амплитуды колебаний), однако благодаря ей отдельные, нормальные колебания не независимы, а связаны друг с другом [6].

Ангармонизм колебаний, в частности, объясняет тепловое расширение кристаллов, отклонение **теплоемкости** от закона Дюлонга и Пти в области высоких температур, а также **отличие друг от друга изотермического и адиабатического упругих постоянных твердого тела и зависимость от температуры и давления.**

На рис.2. приведены графики зависимости напряжения от деформации в процессе нагружения и разгрузки образца. [7].

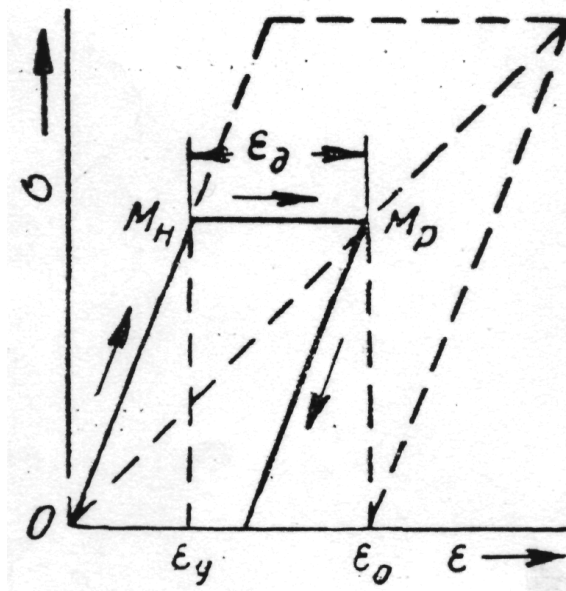


Рис. 2. Зависимость σ - ϵ при постоянном σ [7].

Некоторое время при деформировании образец остается под постоянной нагрузкой. Тангенс угла наклона линии OM_n дает модуль упругости материала образца, в котором еще не успела произойти полная деформация. Этот модуль отвечает адиабатическому процессу деформирования, при котором релаксация не успела произойти.

Модуль называется адиабатическим, или нерелаксированным модулем упругости (M_r). Наклон линии OM_r дает значение модуля упругости материала образца, в котором деформация достигла своего равновесного значения в связи с окончанием релаксационного процесса.

В условиях медленного деформирования (изотермическое нагружение), продолжительность которого превышает время релаксации, получается величина модуля упругости M_r , меньшая, чем M_n , в связи с большей деформацией.

Модуль M_r называется релаксированным, или **изотермическим модулем упругости** [7].

Точные численные значения коэффициента Пуассона μ , модуля Юнга E и модуля сдвига G имеют важнейшее значение в конструкторских расчетах прецизионных машин (станков англ. стремной точности) и механизмов [8,9,10].

Для обработки дисков и барабанов памяти ЭВМ шаровых зеркал из алюминия и бронзы применяют **станки англ. стремной точности**, позволяющие наносить или удалять такое количество материала, которое исчисляется отдельными атомами.

Сверхточная технология, или **нанотехнология** обеспечивает точность обработки порядка 0,01 мкм (10 нм) при шероховатости поверхности 0,001 мкм (1 нм).

Дальнейшее повышение качества и надежности прецизионных узлов и механизмов - одна из актуальных задач в области создания **станков англ. стремной точности**.

Выводы:

1. Одним из современных направлений в области механики и машиноведения является микромеханика, или нанотехнология. Методы и средства классической трибологии здесь не приемлемы в полном объеме. **Развитие нанотехнологий** и появление нового класса приборов микроэлектромеханических и нанозлектромеханических систем **привело к необходимости управления трибологическими процессами в микро- и наномасштабах, развитию теоретических и экспериментальных методов в области нанотрибологии.**

2. **Исследование гистерезиса в трибологических системах (в зонах фрикционного контакта твердых тел), в частности, задержанной во времени теплопроводности, а также задержанной во время электропроводности, даст возможность управлять движением и концентрацией водорода в зоне фрикционного контакта твердых тел, управлять трибологическими процессами в микро- и наномасштабах.**

ЛИТЕРАТУРА

1. **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.
2. **Ивасышин Г.С.** Нанотрибология и гистерезисные явления в трибосистемах. // Труды Псковского политехнического института, № 9. 3. - Псков.: Изд-во ППИ, 2005. - С. 265 -271.
3. 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.
4. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника (износ и безызносность) : Учебник. - 4-е изд; перераб. и доп. - М.: Изд-во «МСХА», 2001.- 616 с.
5. **Цянь Сюэ-Сень.** Физическая механика. Перевод с китайского. Р.Г. Баренцева, Н.А. Спешнева, Б.В. Филиппова / Под ред. С.В. Валландера. - М.: Изд-во «Мир», 1965. - 544 с.
6. Физический энциклопедический словарь. / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик - Романов и др.- М.: Сов. энциклопедия, 1984. - 944 с.
7. **Кристал М. А., Пигузов Ю.В., Головин С. А.** Внутреннее трение в металлах и сплавах. -М.: Metallurgia, 1964. - 246 с.
8. **Ивасышин Г.С.** Влияние упругого последействия и его аддитивности на сопротивление качению в шпиндельных опорах и роликовых механизмах свободного хода // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 1. - С. 23 - 31.
9. **Ивасышин Г.С.** Влияние упругого последействия на физико-механические свойства контактирующих материалов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 8. -С. 11-17.
10. **Ивасышин Г.С.** Влияние упругого последействия и аддитивности упругого последействия упругой системы прецизионного металлорежущего станка на статическую характеристику трения, износостойкость и фреттингостойкость плоских направляющих // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 9. - 32 - 39.