

ЯВЛЕНИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИ ТРЕНИИ МЕТАЛЛОВ

А.В. Баранов

Основной закон термодинамики Клаузиуса предсказывает рост энтропии, т.е. беспорядка в замкнутой системе. Эволюционная теория Дарвина, наоборот, устанавливает, что в основе отбора лежит повышение степени организованности биологических систем. Тем не менее, в последнее время биологическая эволюция стала рассматриваться с кибернетических позиций, понятий автоматического регулирования и обратной связи. Сейчас установлено, что в открытых системах неживой природы, которые постоянно получают из внешней среды отрицательную энтропию и вещество, могут возникать стационарные неравновесные состояния с высокой степенью упорядоченности.

Понятие кибернетической системы включает свойство присущее управляющим системам живой природы, - сохранение устойчивости своей организации, выражающееся в процессах обратной связи. Так в равновесном состоянии любой поток, направленный в одну сторону, компенсируется таким же по величине потоком в обратном направлении. Акт рождения явления нейтрализуется актом его уничтожения. Такая симметрия нарушается, если под действием внешних потоков энергии и вещества система смещается в состояние, достаточно далекое от равновесного, и это новое состояние будет более упорядоченным, чем равновесное.

Самоорганизация не является универсальным свойством материи и проявляется лишь при выполнении некоторых условий.

Во многих случаях явления неживой природы отсутствуют признаки самоорганизации, наблюдается рост энтропии. Однако, есть примеры снижения энтропии системы. Например, рост кристаллов из насыщенных растворов и т.д.

Поверхности трения удовлетворяют требованиям условий самоорганизации. Рассматривая это явление, будем исходить из концепции механохимического механизма трения и изнашивания металлов. Основные принципы данного механизма следующие.

При фрикционном взаимодействии твердых тел и пластической деформации тонкого поверхностного слоя возникает резкое увеличение физикохимической активности последнего. Наличие активных компонентов

среды (кислорода, присадок к смазочному материалу и т.д.) приводит к пассивации поверхностного слоя с образованием тонкопленочных объектов, третьего тела, препятствующего адгезионному взаимодействию трущихся тел, что создает положительный градиент сдвигового сопротивления (условие внешнего трения), уменьшая при этом трение и изнашивание. С другой стороны, достигнув определенной толщины, пленка сама является объектом разрушения. Процессы образования и разрушения данных новых структур находятся в динамическом равновесии.

Обратим внимание на некоторые явления, которые позволяют выявить процессы самоорганизации. Это оптимальное значение шероховатости. Оптимизируется не только микротопография фрикционных поверхностей, а комплекс параметров образующихся поверхностных слоев с особой анизотропной структурой и механическими свойствами.

При механохимическом изнашивании оптимум толщины пленки достигается благодаря наличию двух противоположных нелинейных процессов. При толщине пленки меньше оптимального значения наблюдается ее ускоренный рост благодаря высокой активности подложки и малому сопротивлению диффузии. При большой толщине пленка механически и физически экранирует доставку активных компонентов к месту реакции. Кроме того, толстые пленки являются механически нестабильными вследствие комплекса несоответствий с основным материалом. При механическом воздействии они разрушаются.

К эффектам неустойчивой самоорганизации можно отнести обнаруженный нами факт регулярных колебаний внешних параметров при условиях трения, близких к заеданию. Данное явление объясняется с позиций одновременно протекающих встречающихся процессов. При жестких режимах трения скорость доставки активных компонентов среды оказывается недостаточной для полной пассивации поверхностей. При этом наблюдаются явления микросхватываний с увеличением шероховатости поверхностей трения. Переходное сопротивление при этом резко падает, увеличивается амплитуда отдельных импульсов акустического излуче-

ния, падает его частота. Интегральный коэффициент трения слегка растет. Рост шероховатости вызывает увеличение контактного зазора и, как следствие, повышение расхода активных веществ из внешней среды. Благодаря достаточному количеству реагентов процесс внешнего трения возобновляется. Далее возникает процесс приработки с уменьшением шероховатости. Процесс повторяется.

Принцип оптимальности поверхностных структур можно продемонстрировать следующим экспериментом. При установившемся режиме однонаправленного трения равномерно изменяли скорость скольжения в направлении, указанном стрелками на рисунке 1. При этом фиксировали относительный коэффициент трения (f).

Во всех экспериментах при различных установившихся режимах в нижней ветви графика наблюдается минимум коэффициента трения точно соответствующий первоначальной скорости скольжения. Таким образом сформированные граничные слои оптимальным образом соответствуют данному режиму трения. Наличие Δf говорит о наличии противоположных процессов, интенсивность одного из которых мы уменьшили, снижая скорость скольжения. Величина гистерезиса постепенно увеличивается с увеличением длительности цикла. Однако, только до

некоторой величины. В дальнейшем начинается его снижение.

На наш взгляд данный эффект заключается в следующем. Первоначальное уменьшение скорости приводит к снижению темпов дезорганизации (диспергирования) граничного слоя (обратный процесс), а процессы, направленные на самоорганизацию (формирование вторичных структур, прямой процесс) еще некоторое время продолжают действовать, что приводит к еще большему упорядочению фрикционного контакта и, как следствие, уменьшению силы трения. Увеличение длительности цикла в большей мере угнетает обратный процесс и тем сильнее проявляется процесс снижения энтропии и сил трения. Однако, прямой процесс, хотя и наделен некоторой инерционностью, он также порождается энергетическими механизмами затрат на трение и при высокой длительности циклов соответственно начинает несколько снижаться. При этом величина гистерезиса после некоторого максимума начинает падать. Таким образом, особенностью процесса граничного трения является тенденция к упорядочению, вызываемая потоком организованной механической энергии. Эта тенденция проявляется в образовании различных высокоорганизованных структур снижающих трение и износ.

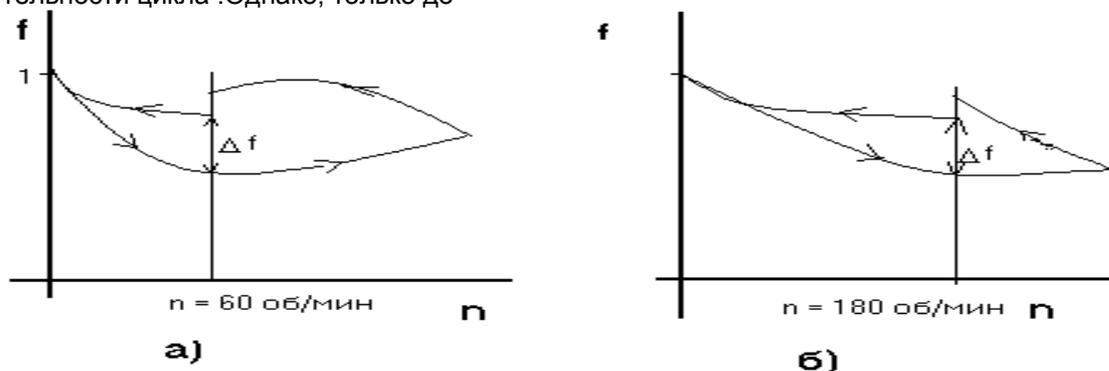


Рисунок 1 – Направление скорости скольжения.