

В чем причины появления изотопов водорода при трении?

Е.Р. Тютюкин, Е.А. Деулин
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
ert197@ya.ru, deulin@bmstu.ru

Авторами рассмотрены процессы газообмена и возникновения трибоплазмы при сухом трении поверхностей, а также представлены результаты опытов по изучению причин генерации всех трех изотопов водорода в паре трения рубин-сталь.

What are the causes of hydrogen isotopes emergence by friction? E.R.Tyutyukin, E.A.Deulin. The authors considered the processes of gas exchange and the emergence of tribo plasma by dry friction of surfaces, and also presented the results of experiments to study the causes of the generation of all three hydrogen isotopes in a ruby-steel friction pair.

Физические основы газообмена при трении в вакууме

Как известно, реальный контакт двух твердых тел осуществляется на поверхностях отдельных микровыступов. Для металлов с шероховатостью поверхности $Ra > 0.16 \mu\text{m}$, т.е. для большинства поверхностей вакуумных механизмов, осуществляется пластический или упругопластический контакт. Это означает, что контактные напряжения в зоне истинного контакта достигают величины микротвердости и значительно превосходят временное напряжения при разрушении макроскопического образца. Кристаллические решетки контактирующих тел на площадках истинного контакта сближаются на расстояния, соизмеримые с параметром решетки, когда начинают проявляться силы межатомного взаимодействия между атомами обоих тел. При этом адсорбированные атомы оказываются зажатыми между двумя кристаллическими решетками, образуя как бы одно целое. Взаимодействие между атомами обоих тел приводит к изменению энергетического состояния адсорбированных атомов газа: понижаются энергетические барьеры между состояниями адсорбированного атома и атома, растворенного в кристаллической решетке, а также уменьшается глубина энергетического колодца адсорбированного атома. Это способствует растворению адсорбированных атомов в кристаллической решетке, что стимулируется повышенной температурой поверхности.

Газообмен в парах трения

Газовый поток, формирующийся при фрикционном взаимодействии механизмов в вакууме можно представить состоящим из 5 последовательно чередующихся стадий, повторяющихся при каждом цикле взаимодействия контактирующих пар. Эпюры распределения температур и объемных концентраций газа в системе «газ-твёрдое тело» при контактном взаимодействии твердых тел приведены в монографии [1], где на рис. 1.20 (стр.45), где показано, что состояние системы газ-поверхность зависит от величины остаточного давления, распределения температур и концентраций газов, растворённых в приповерхностных слоях. Исходная концентрация газов, растворённых в конструкционных материалах, зависит от степени их обезгаженности и составляет, например, для СО и системы «Н₂ - сталь 1Х18Н10Т» $C_0 = 4 \cdot 10^4 \text{Па} \cdot \text{м}^3 / \text{м}^3$. Исходная концентрация газа, сорбированного на поверхностях (до контактирования) согласно уравнению Ленгмюра, уравнения Генри или уравнения БЭТ и при малых давлениях зависит от температуры поверхности Т, остаточного давления Р, и обычно выражается в виде коэффициента заполнения поверхности сорбатом Θ , Расчёт объёмной концентрации C_s сорбированного на поверхности газа, выраженной в Р·V единицах, для Н₂, сорбированного на стали 1Х18Н10Т.

Процесс газообмена в парах трения наглядно представленный в книге [1] на стр. 45 заканчивается накоплением в приповерхностных слоях контактирующих поверхностей и полученного путем диссоциации молекул атмосферной воды, монослоя атомов водородсорбированных на этих поверхностях.

Появление трибо-плазмы при трении

Помимо газообмена процесс трения сопровождается рядом физических явлений, характеризующих не только газообмен в парах трения, но и **плазменные** процессы, обнаруженные Невшупой Р.А., результаты которых представлены на рис. 1, где наглядно виден характер и форма трибоплазмы, появляющейся при работе фрикционной пары «алмаз-кварцевое стекло», описанные в работе Р.А.Невшупы [2].

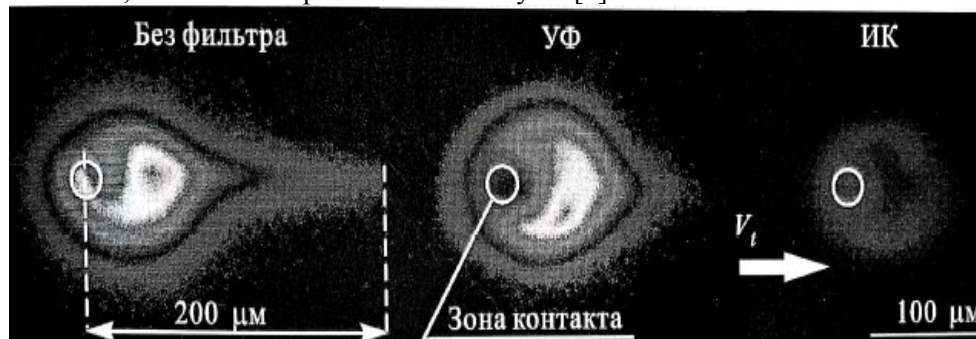


Рис. 1. Результаты изменения размера и яркости плазменного облака в процессе трения пары «алмаз-кварцевое стекло».

Развивая положения о газообмене и трибоплазме формируемых в парах трения, приведенные в работах [1,2], необходимо указать, что процесс газообмена, происходящий на базе атомов водорода существует не только в вакууме и при «нормальной» температуре, но даже при температурах 1000-1500 °С, что представлено в работе [3], где показано, что водород в процессе интенсивного трения (прокатки) почти полностью растворяется в материале листа. Этот процесс хорошо виден на рис. 2, где водород, видимый на левом фото (рис.2 а) в виде местных темных скоплений, в процесс прокатки растворяется в материале пары трения (прокатанного листа), что видно на рис.2 б.

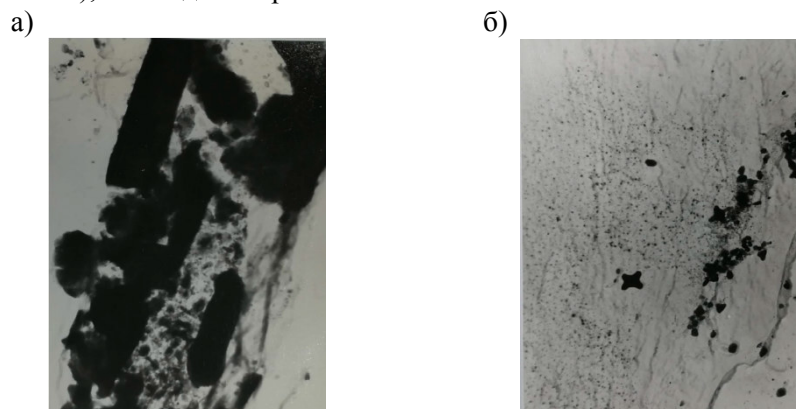


Рис. 2. Лист стали 10Г2ФБ (x20000): а) до прокатки, внутренние поры которого насыщены водородом сорбированных на стенках пор; б) после прокатки, в результате которой водород растворен в толще металла.

Возвращаясь к физике газообмена рассмотрим видимую часть этого процесса, происходящего при трении фрикционных пар в вакууме [1]. Этот процесс обычно принимают состоящим из трех наблюдаемых оператором этапов, представленных на рис.3. Невидимая часть этого процесса хорошо иллюстрируется результатами спектрального анализа изменения потока представленными на рис.3

Генерация изотопов водорода

Говоря о генерации водорода при работе пар трения следует отметить, что появление водорода при работе пар трения в СВВ вакууме уже давно было зафиксировано в ряде работ [4] и хорошо иллюстрируется изменением спектра газовой выделения вакуумных планетарно-резьбовых и волновых передач на разных этапах, что представлено на рис.3., где наглядно видно 3х кратное увеличение массы водорода (2 а.е.м.) на третьем, заключительном этапе

работы. При этом изменение парциального давления изотопов водорода (дейтерия и трития) не фиксировалось.

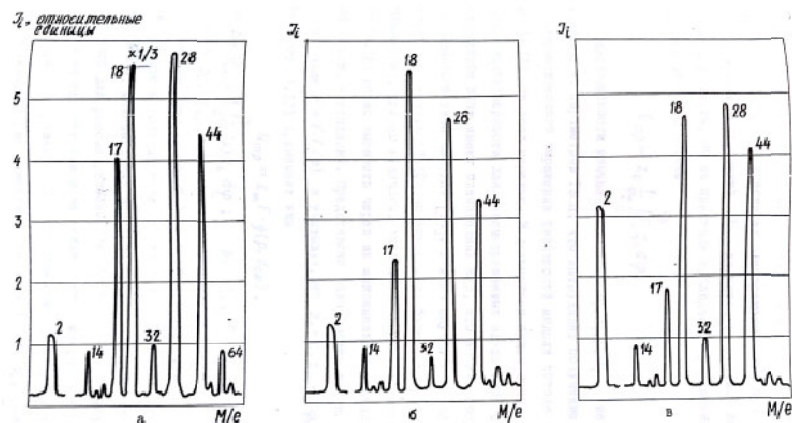


Рис. 3. Масс-спектры газовыделения из герметичной волновой зубчатой передачи (ГВЗП) на различных этапах работы: а - приработка, б – стационарный режим, в – аварийный режим перед отказом.

Исследования, позволяющие увидеть появление двух других (дейтерия, трития) изотопов водорода в парах трения были реализованы авторами с использованием метода ВИМС-анализа.

Так на рис.4 представлены результаты изменения концентрации первого изотопа водорода (H_2 - протия) и второго (D_2 - дейтерия) в куске каменного угля после его истирания. Видно, что объемная концентрация обоих изотопов увеличивается почти в 2 раза. Получаемые значения концентраций изотопов различаются на 4 порядка, что соответствует их разнице в справочной литературе.

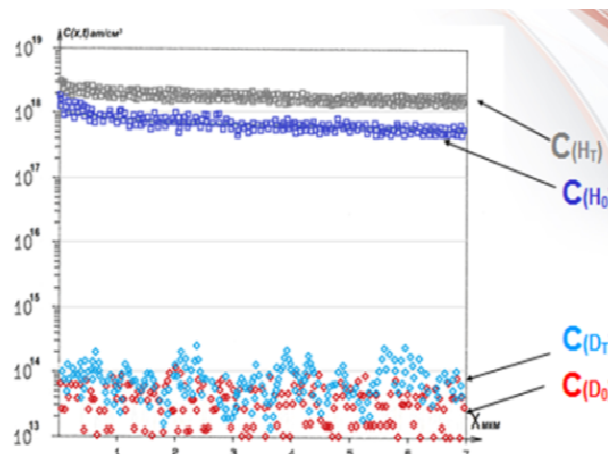


Рис. 4.Изменение объемной концентрации ($ат/см^3$) изотопов водорода (H_2 , D_2) в куске каменного угля в процессе трения. C_{H_0} C_{HT} для протия до и после трения, C_{D_0} C_{DT} для дейтерия до и после трения.

Появление третьего изотопа водорода (трития) с одной стороны **усложняется** тем, что справочная литература дает значение его концентрации еще на 4 порядка меньше чем для дейтерия. С другой стороны обнаружение его появления в зоне трения **облегчается** тем, что он является единственным радиоактивным изотопом водорода, генерирующим бета излучение. Количественные результаты появления атомов трития в парах трения, полученные методом ВИМС-анализа представлены на рис. 5, который показывает увеличение концентрации трития в резце стали Т15К6 при трении (резании) этого резца о болванку из стали 20

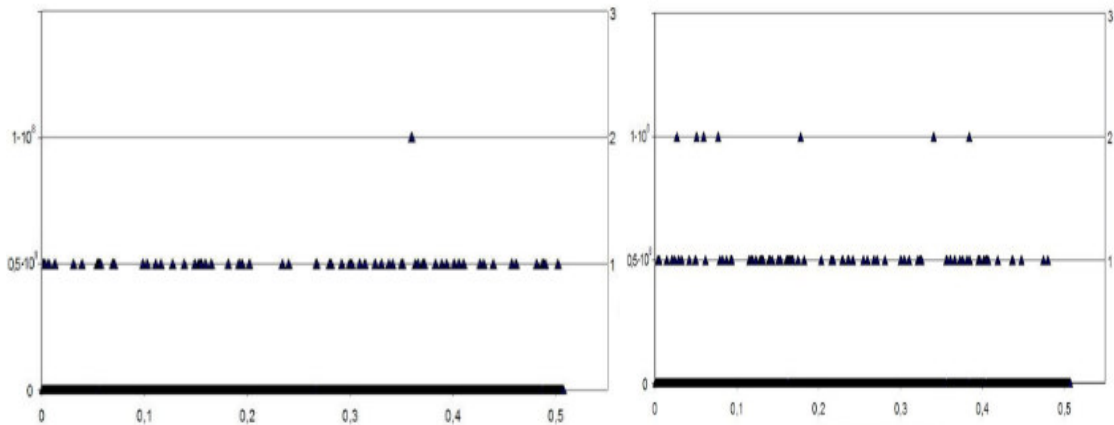


Рис. 5. Распределение концентрации атомов трития в резце из сплава T15K6: до начала резания (слева), и после резания в течении 20 секунд (справа).

Отличительное свойство трития (его радиоактивность) использовалось авторами в ряде экспериментов при трении различных материалов, включая органические. Эксперименты выполнялись с использованием датчика «Радиаскан 701», фиксирующего интенсивность бета излучения, характерного для трития. На рис. 6 представлены результаты накопления трития в замкнутом стеклянном объеме, после циклической работы фрикционной пары «сталь-рубин» в течении 300 суток.

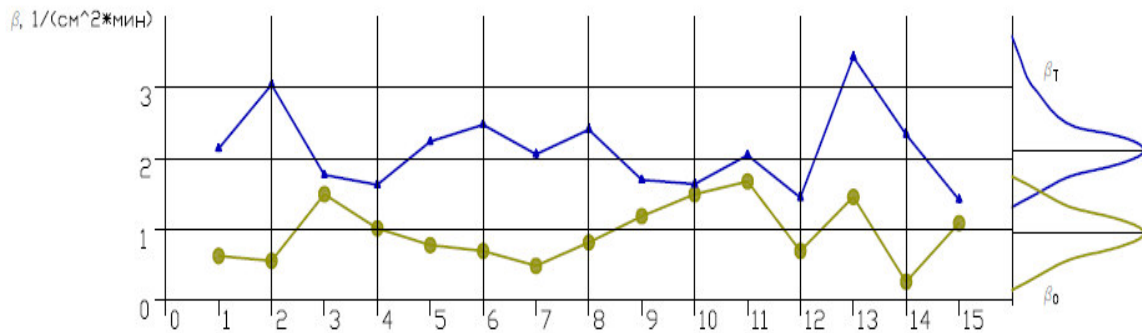


Рис. 6. Функции распределения значений бета-излучения трития накопленного за период 300 дней в камере стенда с парой трения сталь-рубин (верх) и фонового значения бета излучения (низ).

Результаты представленные на рис.6 также показывают, что интенсивность излучения в месте накопления трития в верхней части замкнутого стеклянного объема (верхняя диаграмма) почти в 2 раза превышает фоновое бета-излучение, наблюдаемое в том же помещении также у нижней части упомянутого объема. Учитывая, что все изотопы водорода легче других атмосферных газов и всегда присутствуют в окружающей нас воде (включая молекулы воды в воздухе) и при этом объемная концентрация атомов трития в 10^7 раз меньше, чем концентрация атомов протия, а также в 10^3 меньше чем концентрация атомов дейтерия, поэтому утверждение предполагаемых оппонентов, что тритий мог появиться в объеме из воздуха, выглядят неубедительно.

Анализ перечисленных факторов приводит к убеждению, что увеличение бета излучения в присутствии работающей фрикционной пары является следствием работы этой пары, то есть тритий является результатом «сухого» трения.

Литература

1. Деулин Е. А. Физика вакуумной механики. – М: Горячая линия – Телеком, 2018. – 282 с.
2. Невшупа Р.А. Роль атермических механизмов в активации трибодесорбции и триболюминисценции... // Трение и износ. 2009. Т. 30, №2. С. 118-126
3. Бурова Е.И. (Иконникова) и др. Статистический анализ состава и свойств листовой стали.../Листопрокатное производство/ сб. №4 М. –Металлургия, 1975 с.с 20-32

4. Вагин Н.С. Разработка герметичных волновых зубчатых передач для СВВ оборудования, дисс. к.т.н. М. – 1984г. 216 с.

Исследование электро-импульсного метода синтеза нанокластеров металлов и осаждения их на поверхность пористых материалов методом электрофореза

В.В. Слепцов, В.И. Бердник, А.В. Савкин, А.В. Иванов, Д.Ю. Кукушкин, А.О. Дителева
Москва, ФГБОУВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Волоколамское шоссе, д. 4
E-mail: anna.diteleva@mail.ru или skyline34@nxt.ru

21.

В данной работе представлены результаты экспериментов, направленных на исследование условий формирования наночастиц серебра в водных растворах. С этой целью разработана электродная система с вращающимися электродами и межэлектродным расстоянием ~ 100 мкм. На электроды подаются импульсы высокого напряжения наносекундной длительности и генерируются наночастицы металлов при пробое между электродами в дистиллированной воде.

Investigation of electro-impulse method of metal nanoclusters synthesis and their deposition on the surface of porous materials by electrophoresis. V.V.Sleptsov, V.I.Berdnik, A.V.Savkin, A.V.Ivanov, D.Yu.Kukushkin, A.O.Ditleva. This paper presents the results of experiments aimed at studying the conditions for the formation of silver nanoparticles in aqueous solutions. For this purpose, an electrode system featuring rotating electrodes and an interelectrode distance of ~100 μm has been developed. High-voltage nanosecond pulses are applied to the electrodes and metal nanoparticles are generated during the breakdown between electrodes in distilled water.

Наноматериалы и нанотехнологии являются передовым направлением современной науки и техники. Их развитие затрагивает практически все направления человеческой деятельности. Постоянно возрастает интерес к новым направлениям в области получения объектов нанометрового размера (наночастиц, нанопорошков) и к применению их в практике. Размеры наночастиц, как правило, не превышают 100 нм. Они обладают существенно новыми функциональными свойствами. Перспективно применение в медицине, в частности в виде водных растворов наночастиц серебра. Их можно получать как химическим, механическим, так и физическим способом [1-5]. Методы получения таких материалов достаточно хорошо развиты. Одним из направлений развития являются синтез наночастиц. Однако при синтезе наночастиц возникают ограничения, не позволяющие использовать их по тем или иным причинам в ряде областей. В частности для медицины, к таким ограничениям можно отнести недостаточную чистоту получаемого продукта и достаточно большой разброс частиц по размерам. Среди задач современной нанотехнологии на первый план выходит разработка методов повышения однородности синтезируемых наноструктур [1]. Поэтому разработка нового метода диспергирования металлов является актуальной.

В работах [6] рассмотрены явления пробоя между электродами при напряжении на них существенно выше напряжения пробоя по постоянному току. Показано, что при подаче на электроды импульсов напряжения с временем нарастания ~ 10-9с искажение поля на микроостриях достигает 10-1000 раз, происходит резкий нагрев микроострий токами автоэмиссии и последующее их испарение взрывного характера [8]. В данной работе разработана установка, в которой применена электродная система с вращающимися серебряными электродами с