

6
А-62

Академия наук СССР
Физико-технический институт низких температур

А.А.Гусляков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ
В ВАКУУМЕ.

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени кандидата
технических наук.

Специальность 320 – металловедение и термообработка
металлов.

Харьков, 1971 г.

Академия наук СССР
Физико-технический институт низких температур

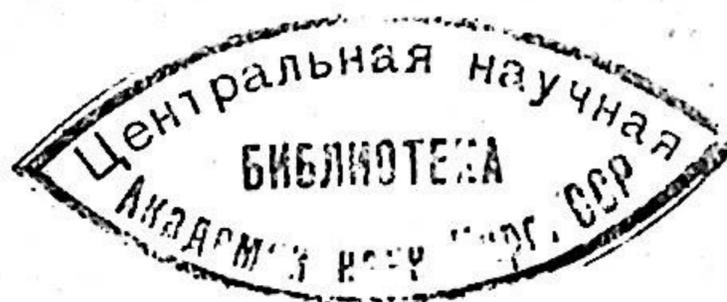
А.А.Гусляков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ
В ВАКУУМЕ.

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени кандидата
технических наук.

Специальность 320 - металловедение и термообработка
металлов.

Харьков, 1971г.



6,21.78
162

Работа выполнена в Физико-техническом институте низких температур АН УССР.

Научный руководитель - доктор технических наук
профессор И.М.ЛЮБАРСКИЙ.

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат.наук профессор Л.С.ПАЛАТНИК

кандидат технических наук А.А.СИЛИН.

Ведущее предприятие - Физико-технический институт АН УССР,
г. Харьков.

Реферат разослан "25" марта 1971 г.

Защита диссертации состоится "27" апреля 1971 г.
на заседании Учёного Совета Физико-технического института
низких температур АН УССР.

Отзыв в 2-х экземплярах просим направить по адресу:
г. Харьков, 86, проспект Ленина, 47, ФТИНТ АН УССР.

С диссертацией можно ознакомиться с библиотеке ФТИНТ АН УССР.

Учёный секретарь Совета
кандидат физико-математических
наук

В.П.РОМАНОВ

- 3 -

Современное развитие науки о трении способствовало признанию определяющей роли тонких физико-химических и механических процессов, реализующихся в зоне контакта, и, тем самым, формированию новых представлений о процессе трения в целом. В свете этих представлений трение - это сложный динамический процесс взаимодействия контактирующих поверхностей, который сопровождается образованием и нарушением фрикционных связей, деформированием материала, его нагревом и охлаждением, изменением структуры, фазового состава и свойств поверхностных слоёв. Исходные характеристики материала и начальное состояние поверхности трения являются только предпосылками для реализации тех или иных частных процессов, определяющих долговечность и работоспособность пары трения. Какие из этих, зачастую конкурирующих процессов будут реализоваться в рабочем объёме зависит от параметров процесса, внешних термодинамических условий и воздействия окружающей среды. Происходящие в ходе трения превращения в активных поверхностных слоях, в свою очередь, вызывают изменение условий трения и смену определяющих процессов, что приводит к изменению характеристик трения и износа.

Поэтому при изучении процесса трения необходимо использование непрерывных, динамических методов исследования, которые позволяли бы непосредственно в ходе трения получать информацию об изменениях, происходящих в материале.

Одним из таких методов может явиться разработанный автором метод масс-спектрометрического определения газовой выделенности.

Сущность этого метода заключается в том, что при нарушении поверхностных слоёв и повышении температуры материала в

процессе трения, часть газа, содержавшегося ранее на поверхности и приповерхностных слоях материала, выходит в окружающую среду, в то время как активные составляющие газовой атмосферы поглощаются образовавшимися ювенильными поверхностями. При небольших объёмах нарушенного материала выход газа происходит практически мгновенно, и каждому акту нарушения поверхности трения соответствует пик газовой выделения. Материал нижележащих слоёв может отдавать содержащийся в нём газ только путём его диффузии через поверхностные слои. Наличие сильно передеформированного и упрочнённого поверхностного слоя меняет параметры процесса диффузии газа. Поэтому выход газа из нижележащих приповерхностных слоёв приводит только к образованию небольшого и сравнительно мало изменяющегося "фона".

Если нарушение фрикционных связей происходит локально, пики газовой выделения выражены отчётливо. Если же процесс разрушения происходит непрерывно в течение длительного промежутка времени, пики газовой выделения уширяются и сливаются.

Таким образом, динамика газовой выделения и газопоглощения служит чувствительным индикатором процессов происходящих на поверхности и в приповерхностном слое.

Обычно интенсивность нарушения поверхности при трении относительно невелика. Количество выделяющегося газа также невелико. Поэтому регистрация процессов газообмена в атмосферных условиях затруднительна. При понижении давления окружающей газовой среды чувствительность измерений заметно возрастает. Использование масс-спектрометрических методов позволяет разделить одновременно протекающие процессы выделения одних газов и поглощения других, а также повысить точность измерения количества

выделяющихся (или поглощаемых) газов.

Методом масс-спектрометрического определения газовой выделения может быть получена не только качественная, но и количественная оценка процесса трения. Для этого нами было сделано предположение, что интенсивность газовой выделения зависит от характера и величины воздействия, количества материала, подвергающегося в данный момент активному воздействию, и его газосодержания.

Определение газовой выделения производилось методом постоянного давления. В этом методе измеряется падение давления ΔP на диафрагме с заданным сопротивлением откачке. По падению давления находится поток $\dot{Q} = dQ/dt$. Количество выделившегося газа определяется интегрированием:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt,$$

где t_1 и t_2 соответственно моменты начала и конца измерения.

При использовании этого метода давление газа в рабочем объёме в ходе эксперимента должно оставаться равновесным (или, точнее, квазиравновесным).

При оценке вакуумных условий в рабочем объёме за меру неравновесности была принята величина коэффициента возврата, понятие о котором было развито автором совместно с И.О.Куликом. Действительно, в области высокого вакуума длина свободного пробега молекул становится столь большой, что они взаимодействуют только со стенками камеры и поверхностью исследуемого объекта. Молекула, покинувшая объект, обязательно попадает на стенку камеры. Если последняя не представляет идеально откачиваемую поверхность (т.е. не захватывает все падающие на неё

молекулы), имеется конечная вероятность возврата молекулы на объект. Эта вероятность определяется откачивающими свойствами внутренней поверхности камеры, её геометрией, расположением и геометрией объекта, распределением температуры поверхностей, и в режиме молекулярного потока не зависит от давления или плотности газа.

Обозначим A - вероятность того, что молекула, попавшая на поверхность камеры, будет откачана, и C - вероятность попадания на объект молекулы, отражённой от поверхности камеры. Тогда величина $R = C \frac{1-A}{A}$ представляет коэффициент возврата. Она равна среднему числу соударений молекулы с поверхностью объекта, прежде чем последняя будет удалена из системы.

Если коэффициент возврата R для данных условий меньше единицы, состояние системы будет существенно неравновесным. Если же $R \gg 1$ неравновесность можно пренебречь (квазиравновесное состояние). При $R \rightarrow \infty$ состояние газа будет равновесным.

Вычисление коэффициента возврата для конкретных систем камера - объект представляет сложную математическую задачу, которая обычно решается методом Монте-Карло на электронно-счётных машинах. Однако, если характеристические размеры объекта малы по сравнению с характеристическими размерами камеры, задача допускает приближённые решения для простейших геометрий камера-объект.

В работе приведены примеры вычисления приближённых значений коэффициента возврата и методика его экспериментального определения для случая, когда основным источником газовой выделенности является газовой выделение объекта.

Оценка равновесности условий в рабочем объёме по водороду показала, что коэффициент возврата $R > 10$. Таким образом, отклонение состояния газа от равновесного в этом случае не превышает 5%.

Необходимость количественного определения величины газовой выделенности предъявляет ряд требований к выбору газа, по которому определяется динамика процесса. Газ - индикатор должен быть таким, чтобы масс-спектрометр регистрировал сам исследуемый газ, а не продукты его побочных, не всегда контролируемых реакций. Он должен иметь возможно большее парциальное давление и не совпадать по массе с другим газом (как, например, азот и окись углерода). Он не должен заметно конденсироваться или адсорбироваться на деталях установки или измерительной аппаратуре. Установка не должна обладать заметной "памятью" к этому газу.

Наиболее полно таким требованиям отвечает водород. К тому же водород является основной газовой примесью у большинства металлов. Закономерности его взаимодействия с металлами изучены более полно, чем любого другого газа. Водород хорошо растворим в металлах. При этом связи водорода с металлами обычно слабы, и он легко десорбируется при механических воздействиях.

Для количественного определения величины газовой выделенности установка предварительно градуировалась по водороду. Градуировка установки позволила выражать высоту масс-спектрометрического пика непосредственно в единицах измерения давления.

Экспериментальное определение скорости откачки по водороду позволило оценить постоянную откачки системы и, тем самым, влияние параметров установки на форму и высоту пика газовой выделенности при заданном газовом потоке.

Для проведения масс-спектрометрических исследований в вакуумных системах и повышения точности измерений при использовании метода масс-спектрометрического определения газовой выделенности при трении автором (совместно с Н.Н.Багровым и А.Г.Фурманским) создан новый масс-спектрометр однопольного типа - РОМС-1.

Принцип действия прибора основан на отклонении ионов в поле электрического конденсатора, состоящего из уголкового и цилиндрического электродов. Уголкового электрода заземляется, а к цилиндрическому электроду подводится постоянное и высокочастотное напряжение с фиксированным отношением их амплитудных значений. Разделение ионов по массам производится изменением амплитудных значений постоянного и высокочастотного напряжений при сохранении постоянства их отношений.

Диапазон рабочих давлений прибора $1 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-10}$ тор. Диапазон регистрируемых масс $1 - 70$ при разрешающей способности не хуже 200. Прибор допускает заметное (примерно, в 2 раза) расширение диапазона масс при незначительном ухудшении разрешающей способности. Наряду с записью спектра масс на диаграммную ленту возможна скоростная регистрация спектра на экране осциллографа, выполненного в виде отдельной приставки. В качестве регистрирующего элемента осциллографа используется телевизионная трубка с большим экраном.

Шкала масс прибора - линейная, что заметно облегчает расшифровку спектра. Отсутствие постоянных магнитов позволяет устанавливать датчик прибора так, чтобы его ионный источник находился в непосредственной близости от пары трения. Это позволило повысить точность измерений.

Установка, на которой проводилось изучение газовой выделенности, была снабжена также масс-спектрометром ИЦО-1, который использовался только для записи выделения водорода, т.к. по другим газам "память" прибора была заметно выше, чем у РОМС-1.

Одновременное использование двух масс-спектрометров позволяло наряду с определением выделения водорода при трении оценивать и поглощение активных составляющих остаточных газов (например, кислорода и воды).

Изучение динамики газовой выделенности при трении проводилось на образцах углеродистой стали, никеля, меди, алюминия и ряда других металлов по схеме кольцо - полусферический ползун в вакууме 10^{-7} тор.

При трении углеродистой стали было найдено, что газовой выделенности характеризуется тремя различными этапами: начальным, когда газовой выделенности постепенно увеличивается, этапом повышенного нестабильного газовой выделенности и этапом более или менее устойчивого выделения с отдельными, неравномерно расположенными "выбросами".

Для изучения кинетики процесса разрушения поверхностного слоя и формирования поверхностной структуры опыт прерывали на различных стадиях трения, производили металлографические исследования и измерение износа. Эти исследования показали, что начальный этап связан с изнашиванием окисной плёнки на кольце и началом разрушения ползуна, а этап интенсивного газовой выделенности - с разрушением окисной плёнки на кольце. Разрушающаяся плёнка в течение некоторого времени ещё предохраняет металл от непосредственного контакта. В конце концов поверхность металла на некотором участке очищается и происходит схватывание венильных по-

верхностей кольца ползуна, приводящее к значительному нарушению поверхности трения. При этом сила трения резко возрастает. В этот же период проходит подготовка и формирование структуры поверхностного слоя, в частности образование белой зоны, которая снижает износ и газовыделение. Периодические "выбросы" связаны с разрушением упрочнённой структуры и вступлением некоторого количества "свежего" металла в активный объём трения. По количеству выделившегося газа ("выброс"), зная исходное газосодержание исследуемого материала, можно оценить количество металла, вступающего в тот или иной момент в активный объём трения.

В тех случаях, когда на поверхности трения не наблюдается прочная окисная плёнка или когда она легко разрушается при трении, газовыделение начинается скачком сразу же с началом трения. Если на поверхности трения не образуются упрочнённых структур, интенсивное газовыделение продолжается в течение всего периода трения.

Метод масс-спектрометрического определения газовыделения может быть успешно использован и при изучении наростообразования, поскольку он надёжно фиксирует как момент начального схватывания, так и рост нароста в процессе трения.

Если газосодержание материала определено заранее другим методом, то по количеству выделившегося газа можно оценить количества материала, вступающего в тот или иной момент в активный объём трения.

Нами была проведена оценка средней толщины активного слоя в предположении, что все газовыделение обусловлено только этим слоем. У стали и никеля толщина активного слоя составляет от 5 до 20 микрон (в зависимости от параметров трения), у меди 2-3 микрона.

Активный объём при трении является более чувствительной характеристикой нарушения поверхностного слоя, чем, например, износ. В частности, изменение параметров трения (например, нормальной нагрузки), при которых износ ещё изменяется, уже приводит к заметному изменению активного объёма.

Основные результаты.

1. Разработан метод масс-спектрометрического определения газовыделения при трении, основанный на масс-спектрометрической регистрации газообмена между материалом пары и окружающей газовой средой.

Экспериментально показано, что этот метод может быть использован для изучения динамики процесса при трении в вакууме.

Сделан вывод, что газовыделение и газопоглощение могут явиться чувствительным индикатором физико-химических процессов, происходящих на поверхности материала при трении.

2. Проведена оценка вакуумных условий при трении. Показано, что одна только степень разрежения газа в рабочем объёме ещё не определяет ход процесса при данной совокупности конкретных условий, поскольку на процессы трения и схватывания заметно влияют такие факторы, как состав остаточных газов, концентрация активных составляющих, кинетика взаимодействия газов с поверхностью материала.

Показано, что в отдельных частях вакуумной системы может возникать свой, локальный вакуум, величина и "качество" (состав остаточных газов) которого существенно отличается от тех же характеристик вакуума в других частях системы.

3. Проведено экспериментальное изучение вакуумных условий в закрытой паре трения как в процессе вакуумирования рабочего объёма, так и в процессе трения.

4. Для оценки вакуумных условий, в частности, для определения степени равновесности состояния газа в вакуумной системе, использовано понятие коэффициента возврата. Проведено вычисление коэффициента возврата некоторых простейших систем камера-объект. Предложена методика экспериментального определения коэффициента возврата и найдены его значения в одной из вакуумных систем.

5. Разработан и создан новый масс-спектрометр однопольного типа - РОМС-1, который по своим характеристикам превосходит другие промышленные отечественные масс-спектрометры.

Масс-спектрометр принят к производству и выпускается серийно Сумским заводом электронных микроскопов и электроавтоматики.

Прибор является экспонатом Выставки достижений народного хозяйства СССР и награждён серебряной медалью.

В настоящее время прибор успешно используется во многих научных учреждениях СССР.

6. Показано, что метод масс-спектрометрического определения газовой выделенности позволяет изучать как процесс трения в целом, так и отдельные его этапы. При использовании этого метода проведено экспериментальное изучение динамики трения в вакууме образцов из углеродистой стали, алюминия, меди, никеля, титана и молибдена, а также изучение начальных стадий трения стали 45.

7. Проведено экспериментальное определение активного объёма при трении углеродистых сталей, а также толщины активного слоя на никеле при трении ползунов из стали, никеля, молибдена и меди.

Показано, что метод масс-спектрометрического определения газовой выделенности может быть успешно использован для изучения процессов наростообразования, упрочнения при трении и т.д.

Таким образом, при использовании этого метода может быть получена дополнительная информация о механизмах трения и износа, недоступная другим известным методам изучения трения.

Основные результаты диссертации докладывались на:

1. Конференции по вакуумному аппарату-и приборостроению (Ленинград, 1963);
2. Международном конгрессе по использованию вакуумной техники в космических исследованиях (Париж, 1964);
3. Конференции по физике и технологии высокого и сверхвысокого вакуума (Ленинград, 1966);
4. Уральский юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения (Курган, 1967);
5. Всесоюзной Комиссии по масс-спектрометрии АН СССР (Москва, 1969);
6. Всесоюзном симпозиуме "О природе трения твёрдых тел" (Гомель, 1969);
7. I-й Всесоюзной конференции по масс-спектрометрии (Ленинград, 1969);
8. Расширенном семинаре ИМАШ по трению, адгезионному взаимодействию и изнашиванию жаростойких материалов (Москва, 1970).
9. 5-й Киевской конференции по повышению износостойкости и срока службы машин (Киев, 1970).

а также содержатся в работах:

1. Н.Н.Багров, А.М.Бутенко, А.А.Гусляков, И.О.Кулик,
В.Ф.Удовенко. ЖТФ, 1967, 37 (6), 1105-1111;
2. Н.Н.Багров, А.М.Бутенко, А.А.Гусляков, И.О.Кулик,
В.Ф.Удовенко. Сборник "Физика и техника сверхвысокого
вакуума". Из-во "Машиностроение", Ленинград, 1968,
стр. 116-124;
3. И.М.Любарский, В.Ф.Удовенко, Н.Н. Федорков, А.А.Гусляков.
ФХММ, 1967, 3, (2), 197-200;
4. Н.Н.Багров, А.Г.Фурманский, А.А.Гусляков. ПТЭ, 1969,
№ 4, 136-138;
5. Н.Н.Багров, А.А.Гусляков, А.Г.Пилипенко, А.Г.Фурманский,
А.Е.Янов. ПТЭ, 1970, № 4, 237-238;
6. А.А.Гусляков, А.В.Ашукин, В.И.Кулеба, И.М.Любарский,
ФХММ, 1970, 6 (1), 106-107;
7. Б.И.Веркин, И.О.Кулик, А.А.Гусляков, Н.Н.Багров.
Сборник трудов ФТИНТ АН УССР, 1968 вып. IУ стр.4-23;
8. А.А.Гусляков, А.В.Ашукин, В.И.Кулеба, И.М.Любарский.
Сборник трудов ФТИНТ АН УССР. Криогенная и вакуумная
техника, 1969. вып. I, стр. 195-201;
9. А.А.Гусляков, В.И.Кулеба, А.В.Ашукин. "Повышение изно-
состойкости и срока службы машин" Киев, 1970, вып.П,
стр. 41-43.

Ответственный за выпуск
канд. техн. наук Гринберг Н.М.

БЦ. 50043 Подписано к печати 23.11.1971г. физ.п.л. I.
усл. печ. л. I,17. Заказ № 106, тираж 200.

Ротапринт ФТИНТ АН УССР, проспект Ленина, 47.