

УДК 539.612

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Б. В. ДЕРЯГИН, Н. А. КРОТОВА, Н. П. КНЯЗЕВА

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОНИКАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАРУШЕНИИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА

Нарушение адгезионной связи сопровождается адгезиолюминесценцией. При этом можно показать, что с увеличением скорости отслаивания растет доля коротковолнового излучения ⁽¹⁾. В некоторых работах (см. например, ⁽²⁾) было обнаружено также сопутствующее отрыву излучение радиоволны. Было установлено, что эффект регистрируется при определенном характерном для каждой адгезионной пары значении скорости отрыва. Это обстоятельство, а также сравнение спектральных характеристик адгезиолюминесценции и искрового разряда позволяет однозначно установить, что в зазорах между разъединяемыми поверхностями возникают газовые

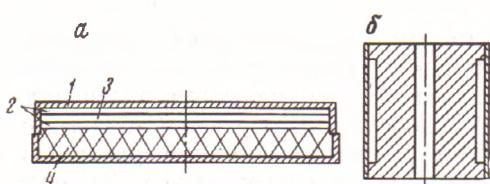


Рис. 1

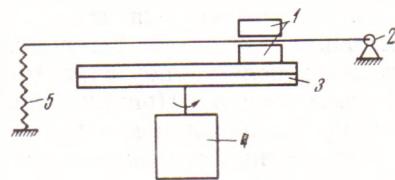


Рис. 2

Рис. 1. а — Диск (цилиндрическая коробка): 1 — крышка, 2 — черная бумага, 3 — пленка, 4 — резина, б — ролик с заложенной внутри рентгенопленкой

Рис. 2. Схема проведения опыта по детектированию проникающего излучения в процессе трения качения: 1 — ролик, 2 — направляющий ролик, 3 — коробка, 4 — электродвигатель, 5 — пружина

разряды. При этом начальной стадией (до развития лавинных процессов) является эмиссия электронов высокой энергии, возникающих под действием полей высокой напряженности в зазорах между отрываемыми поверхностями. Это явление хорошо регистрируется в высоком вакууме, где нет условий для развития лавинного разряда ⁽³⁾.

Одновременно наблюдается и проникающее излучение, способное проходить через толстые свинцовые пластинки. Специально поставленные опыты с многослойными экранами с одинаковой задерживающей способностью, но с различной последовательностью расположения слоев показали независимость остаточного счета, производимого с помощью вторичного электронного умножителя, от последовательности экранов. Отсюда следует, что излучение возникает в самом устье отрыва и вызывается торможением первичных электронов материалом противоположной стенки зазора, которой они достигают после вылета. Существование проникающего излучения было также подтверждено опытами, в которых детектором излучения являлся люминесцирующий экран: стеклянная пластина толщиной 2 мм с нанесенным на ней слоем виллемита. Было показано ⁽⁴⁾, что излучение способно проходить через стеклянную пластинку и вызывать свечение слоя виллемита. В описываемых опытах было также установлено, что электроны высокой энергии, способные тормозиться материалом подложки, могут возникать только при определенной пороговой скорости отрыва.

В настоящей работе обнаружено и исследовано проникающее излучение типа рентгеновского в процессе отрыва, осуществляемого в атмосферных условиях. Для регистрации электронов была применена следующая методика. Рентгеновская пленка типа РФ-1 помещается в металлическую коробку цилиндрической формы (рис. 1), укрепленную на валу двигателя. Сверху к металлической крышке прижимается полый ролик, свободно вращающийся на валу. Внутрь ролика также можно заложить рентгеновскую пленку. При вращении коробки ролик катится по ее поверхности. Если на ролик наклеена липкая лента, то при этом систематически происходит образование и нарушение адгезионного контакта между полимером и металлом. Схема опыта представлена на рис. 2. В состав клеящего материала ленты (на лавсановой основе) входит:

Каучук натуральный	30 ± 3 г/л,
Каучук синтетический СКМС-30, АРКМ-15	12 ± 3 г/л,
Канифоль сосновая	$39 \pm 15\%$ г/л;
Неозон «Д»	$1 \pm 0,2$ г/л;
1 л растворителей содержит:	
Толуол	62% объема,
Ацетон	19%,
Бутилацетат	19%.

При скорости отрыва 1,5 м/сек и экспозиции 5 мин. рентгеновская пленка оказывается покерневшей. Следовательно, при отрыве липкой ленты от диска возникает излучение, которое проникает через слой металла толщиной 0,5 мм. Снимки (рис. 3) представляют сложную картину колец и пятен, следов трения качения ролика и нарушения адгезии при вращении диска, увлекающего полый ролик в своем движении.

Таким образом, экспериментальный факт проникающего излучения при нарушении адгезии не только в вакууме, но и на воздухе оказывается установленным. Это излучение, очевидно, может быть отнесено к рентгеновскому излучению. Очевидно, оно вызывается бомбардировкой противоположной стенки трещины потоком быстрых электронов. Для возбуждения рентгеновских лучей электрон должен иметь энергию порядка 10^4 эв (условие, выполняемое в опыте). При этом энергия электронов непосредственно превращается в энергию рентгеновского излучения вследствие того, что электрон, пролетая вблизи ядра атома, резко тормозится и излучает фотон большой энергии. При этом возникает сплошной непрерывный спектр рентгеновского излучения.

Таким образом, причиной возникновения проникающего излучения в нашем случае является эмиссия электронов, которые, разгоняясь полем



Рис. 3. Следы проникающего излучения при трении качения и нарушении адгезионного контакта в процессе вращения диска и ролика один относительно другого. Концентрические кольца — следы скольжения, пятна — нарушение адгезии.

На пленке под роликом находится серия параллельно расположенных ориентированных пятен

между обкладками разделяемого двойного электрического слоя, приобретают энергии порядка 10^4 — 10^5 эв. При взаимодействии электронов с полем атомов твердого тела возникает тормозное излучение, причем длины волн в его непрерывном спектре определяются кинетической энергией тормозящихся электронов.

При отрыве полимера от стекла или металла со скоростью 1 см/сек генерируются электроны с энергиями порядка десятков килоэлектронвольт (³, ⁴). Учитывая, что длина свободного пробега электронов с энергиями



Рис. 4. Засвечивание фотоэмulsionии после отрыва от нее пленки полимера. Разряды происходят вдоль поверхности пленки. Скорость отрыва 1 см/сек (а); 1,5 м/сек (б)

10^4 эв соответствует нескольким сантиметрам (⁵), то при увеличении скорости отрыва на два порядка следует ожидать эмиссии электронов еще более высоких энергий, во всяком случае, способных достигать противоположной стенки зазора и тормозиться ею.

При торможении соблюдается уравнение

$$U = \frac{1}{2}mv^2 - \hbar\nu, \quad (1)$$

где U , m , v — кинетическая энергия, масса, начальная скорость электрона соответственно, ν — максимальная частота в спектре излучения. Отсюда длина волны рентгеновского излучения

$$\lambda_{\min} = \hbar c / (eU), \quad (2)$$

где c — скорость света, e — заряд электрона.

Расчет показывает вероятность возникновения в нашем случае рентгеновского излучения с длиной волны порядка 1—0,1 Å.

Если материал крышки вращающейся коробки и ролика представляет собою металл (нержавеющая сталь Х-18), то излучение проникает на глубину 0,5 мм; в случае, когда одним из компонентов пары является диэлектрик (пластмасса), рентгеновское излучение проникает на глубину 1—1,5 мм.

Необходимо сказать, что проникающее излучение при трении и диспергировании металлов наблюдалось различными исследователями (⁶). Так, в работе (⁷) осуществлен ряд конструкций, в которых излучение, возникающее при длительном трении или ударных воздействиях, проходит через препятствия в несколько миллиметров и фиксируется чувствительной пластиинкой, на которой нанесена ядерная эмульсия.

Рентгеновское излучение может ионизировать и возбуждать атомы и молекулы газа, в частности азота и кислорода воздуха, и вызывать люминесценцию, возникающую не только в зазоре, но и вблизи свежеобразованных поверхностей.

Снимки, иллюстрирующие характер адгезиoluminesценции при различных скоростях отрыва полимера (липкой ленты) от чувствительной пленки, приведены на рис. 4. Увеличение скорости отслаивания изменяет характер картины засвечивания фотопленки. Изменяются интенсивность и размеры локальных разрядов. При больших скоростях отслаивания пленки адгезива происходит разряд не только в устье отрыва, но и на некотором расстоянии от него, что обусловлено накоплением остаточных зарядов различного знака и их последующей рекомбинацией.

Институт физической химии
Академии наук СССР
Москва

Институт автоматики
Академии наук КиргССР
Фрунзе

Поступило
13 VIII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. П. Князева, Тез. докл. и сообщ. II Всесоюzn. симпозиума по механохимии и механоэмиссии твердых тел, Фрунзе, 1969, стр. 11; Д. М. Мамбетов, Н. П. Князева, Т. Мусуралиеев, Там же, стр. 15. ² Л. А. Тюрикова, Б. Г. Авербух и др., ДАН, т. 201, 833 (1971). ³ А. М. Поляков, Н. А. Кротова, ДАН, т. 151, 130 (1963); Сборн. Исследования в области поверхностных сил, «Наука», 1967, стр. 461; А. М. Поляков, Ю. Ф. Курдубов и др., ДАН, т. 175, 72 (1967). ⁴ А. М. Поляков, Кандидатская диссертация, М., 1966. ⁵ Э. В. Шпольский, Атомная физика, М.—Л., 1957. ⁶ А. Д. Дубинин, Энергетика трения и износа в деталях машин, 1963. ⁷ К. М. Клементьев, Температурная зависимость внешнего трения металлов и неметаллов в газах и вакууме, Воронеж, 1969; Термодинамика трения, Воронеж, 1971.