

Л. А. ТЮРИКОВА, Б. Г. АВЕРБУХ, Н. И. МОСКВИТИН, Н. А. КРОВОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАРУШЕНИИ АДГЕЗИИ ПОЛИМЕР — ТВЕРДОЕ ТЕЛО

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 11 V 1971)

В настоящее время появляются работы, в которых описываются случаи электромагнитных импульсов при разрушении твердых тел. Так, в работе (1) исследуются временные характеристики коротковолнового излучения при подрыве зарядов твердого вещества огневым способом. Однако авторы не обсуждают причин возбуждения радиоволн. В работе (2) регистрировались электромагнитные импульсы при раскалывании кристаллов, что связывалось с наличием газоразрядных явлений в этом процессе. Ранее (3) было показано, что не только разрушение твердых тел, но и нарушение адгезионного контакта сопровождается импульсами электромагнитного поля; в частности, было показано, что при отслаивании полимерной пленки от твердого субстрата генерируется электромагнитное излучение в радиодиапазоне.

Настоящая работа ставит целью показать связь между параметрами радиоизлучения и механическими характеристиками адгезии. Объектами исследования являлись полимерная пленка КЛТ (смесь натурального и синтетического каучуков на полиэтилентерефталатной основе), хирургический пластырь, эфиры целлюлозы и поливинилхлорид. В различных комбинациях они составляли адгезионные пары с проводником (сталь) и диэлектриком (стекло).

Генерирование электромагнитных колебаний в радиодиапазоне при нарушении адгезионного контакта изучалось на установке, которая позволяет с различной скоростью отслаивать полимерную пленку и определять работу ее отрыва; определять время начала и конца отрыва пленки полимера, а также появления и исчезновения радиоимпульсов; фотографически регистрировать радиосигналы; определять частоту радиоизлучения; исследовать форму радиоимпульсов и оценивать их длительность.

Эксперименты проводились в атмосферных условиях.

Детектором электромагнитного излучения служила телескопическая антенна радиоприемного устройства длиной 1 м, которая располагалась на расстоянии до 1,5 м от устья отрыва. После детектирования и усиления сигналы, принятые антенной, регистрировались на осциллографе, с экрана которого производилось фотографирование. Параллельно они записывались на магнитную ленту для последующего воспроизведения на осциллографе. Исследование проводилось в коротковолновом радиодиапазоне на частотах свыше 1 Мгц. Связь различных элементов радиоэлектронной схемы и их назначение видны из блок-схемы (рис. 1).

Параметры системы обеспечивают наблюдение импульсов с фронтом нарастания не менее $\tau = 0,1$ сек. Чувствительность схемы 30 мв, полоса пропускания $\Delta f = 10$ кГц. Промежуточная частота приемника $f = 460$ кГц.

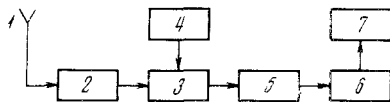


Рис. 1. Блок-схема для регистрации радиоизлучения: 1 — антенна, 2 — входные цепи, 3 — смеситель, 4 — гетеродин, 5 — у.п.ч., 6 — детектор, 7 — осциллограф

Опыт показывает, что радиоизлучение носит импульсный характер. Сигналы, принятые антенной, имеют вид последовательных всплесков разной амплитуды. При отслаивании в этих же условиях ($v = 1$ см/сек) пленки эфира целлюлозы радиоизлучения не наблюдалось. Возможно, это обстоятельство связано с недостаточной чувствительностью схемы для

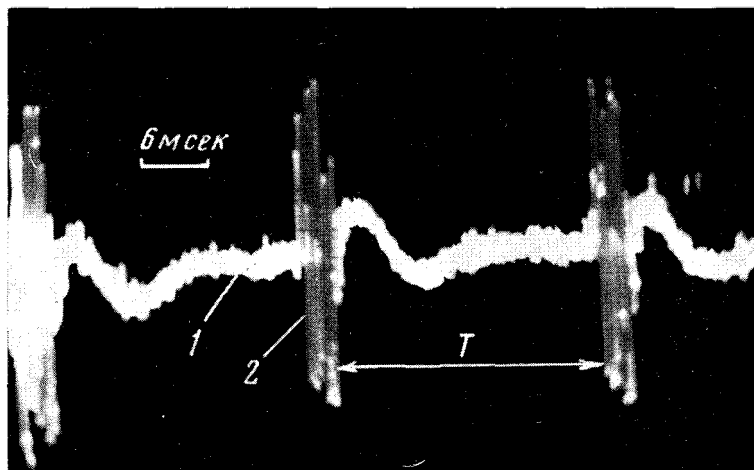


Рис. 2. Оциллограмма радиоизлучения при отслаивании каучуковой пленки КЛТ от стекла со скоростью $v = 1$ м/сек. Частота приема 10 Мгц. Развертка запускалась от генерируемого радиоимпульса

этой адгезионной пары. Однако электромагнитный импульс удалось вызвать при мгновенном отрыве пленки ацетобутирата целлюлозы от стекла.

Таким образом, в появлении радиоизлучения определенную роль играет скорость отслаивания. Согласно теории (⁴), эта скорость определяет

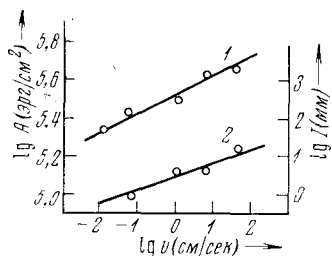


Рис. 3. Зависимость работы A (1) и интенсивности радиоизлучения I (2) от скорости v отслаивания каучуковой пленки КЛТ от металла

механизм нейтрализации двойного электрического слоя, возникающего в период пленкообразования и являющегося интегральным эффектом локальных донорно-акцепторных взаимодействий молекул. С ее увеличением все большая доля первоначального заряда нейтрализуется путем газового разряда. С возрастанием разрядного тока интенсивность радиоизлучения увеличивается. В опыте это подтверждается ростом амплитуды радиоимпульсов. При сохранении структуры импульсов в целом с увеличением скорости амплитуда их увеличивается. Кривые, выражающие зависимость интенсивности радиоизлучения от скорости, обнаруживают сходство с адгезиограммами (рис. 3). При данной скорости отслаивания пленки интенсивность сопутствующего радиоизлучения больше в случае более высокой адгезии. Эта взаимосвязь особенно хорошо выражена в области применимости закона Пашена. При нарушении контакта пленки с металлом величина интенсивности радиоизлучения меньше, чем при отрыве ее от диэлектрика. Это коррелирует с адгезионной прочностью исследуемых систем.

При постоянной скорости отслаивания пленки от диэлектрика интенсивность радиоизлучения через определенный промежуток времени достигает некоторого предельного значения, наряду с импульсами малой амплитуды (участок 1) периодически повторяются пакеты импульсов большей амплитуды (участок 2).

Постоянство периода T (участок \mathcal{E}) говорит о том, что при изменении амплитуды разрядных токов динамическое сопротивление остается одним и тем же. Оно определяет длительность процесса нейтрализации заряда через газовый разряд и зависит от рода и давления газа, а также от процессов, протекающих на квазиэлектродах*.

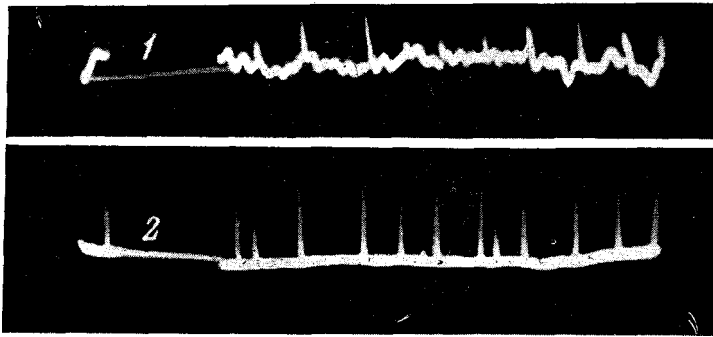


Рис. 4. Осциллограммы радиоизлучения (1) и свечения (2), возникающих при отслаивании каучуковой пленки от полиэтилентерефталата со скоростью $v = 0,1$ см/сек. Длительность развертки 80 мсек.

Наблюдаемая в опыте длительность импульсов (мсек.) значительно превышает характерные собственные времена (мсек.) формирования и распада искрового разряда при $P = 1$ атм.

Анализ экспериментальных данных позволяет заключить, что электромагнитные явления, наблюдаемые при нарушении адгезии, в общем подчиняются закономерностям, управляющим газовым разрядом⁽⁵⁾, но обладают рядом характерных особенностей. Наличие промежутка T связано с накоплением статического заряда на значительном участке отслаивающейся пленки. Важную роль должна играть электропроводность поверхностей, малоизученная в динамике нарушения адгезии.

Для изложенного выше существенно, что в пределах радиодиапазона 1 — 10 Мгц, где проводились измерения, зависимость амплитуды излучения от времени меняется равномерно при изменении частоты, поэтому о суммарной энергии излучения можно судить по его амплитуде на фиксированной частоте.

В тех случаях, когда отрыв носит смешанный характер, структура импульсов случайна. Радиопульсы по времени своего появления соответствуют участкам, где наблюдается адгезионный тип отрыва.

Колебания интенсивности излучения в областях, соответствующих импульсам больших и малых амплитуд, указывают на дискретный характер разрядов. Разряды происходят на микроучастках отслаивающейся пленки, где напряженность поля достигает критической величины.

Зная длину оторванной пленки и количество радиопульсов, можно оценить одну из важнейших характеристик адгезии — длину элементарного участка отслаивания. Для пленки каучука при отрыве от стекла она равна 300 м. Эта величина находится в хорошем согласии со значением, определенным ранее⁽⁶⁾ по данным электронной эмиссии, а также вычисленным по характеру гофр⁽⁷⁾, остающихся на пленке после ее отрыва.

Генерирование электромагнитных колебаний в радиодиапазоне является наиболее убедительным доказательством развития газового разряда в устье прорастающей трещины. Коллективные колебания электронов отно-

* Применить в данном случае термин электрод нельзя, поэтому нами в отношении элементов адгезионной пары, разряжающихся при нарушении контакта, вводится термин квазиэлектрод.

нительно малоподвижных ионов газа в неустойчивой плазме разряда ответственны за возбуждение радиоволн.

Во всех случаях радиоизлучение сопровождается излучением видимого света, регистрируемого ФЭУ на первом канале осциллографа, и звуковыми колебаниями, записываемыми через микрофон. При средних скоростях отрыва (0,1—1 см/сек) время появления световых и радиоимпульсов совпадает (рис. 4).

В заключение заметим, что при нарушении адгезии в вакууме наблюдаются колебания интенсивности эмиссии механоэлектроннов. Характер этих колебаний весьма сходен и может быть сопоставлен с колебаниями механического напряжения при отрыве пленок полимеров и осциллограммами радио- и видимого излучения. Отсюда с очевидностью следует, что процесс отрыва и все явления, его сопровождающие, носят колебательный характер.

Московский лесотехнический институт
Мытищи Моск. обл.

Поступило
6 V 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. П. Бородин, Ю. А. Медведев, Б. М. Степанов, ДАН, **192**, № 4, 67 (1970). ² Л. М. Беляев, В. В. Набатов, Ю. Н. Мартышев, Кристаллография, в. 4, 7, 576 (1962). ³ Л. А. Тюркова, Ю. М. Евдокимов и др., Тезисы II Симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел, Фрунзе, 1969. Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, 1949; Н. И. Москвитин, Склеивание полимеров, 1968. ⁵ Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Ю. М. Кириллова, ДАН, **97**, 475 (1954); Л. А. Тюркова, Ю. М. Евдокимов и др., ДАН, **184**, № 3, 658 (1969). ⁶ Н. А. Кротова, В. В. Карасев, ДАН, **99**, 715 (1954); А. М. Поляков, Диссертация, 1966. ⁷ Ю. М. Евдокимов, Н. И. Москвитин, Л. А. Тюркова, Сборн. Адгезия и прочность адгезионных соединений, ч. 1, 1968.