

УДК 621.7 + 621.9 + 537

**Жартовский А. В.**

## **О ВЗРЫВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТАХ**

В настоящее время известны основные виды эмиссии электронов с поверхности твердого тела: термоэлектронная, автоэлектронная, вторичная электронная, вторичная ионно-электронная, взрывная, фотоэлектронная.

Явление взрывной электронной эмиссии было обнаружено в 1966 г. С тех пор большое количество исследований было посвящено изучению этого явления [1–4]. Взрывная электронная эмиссия представляет собой испускание электронного тока с поверхности проводника, являющегося катодом, вследствие микровзрыва на его поверхности. Наиболее распространенным способом возбуждения взрывной электронной эмиссии является быстрый нагрев электрическим током большой плотности. При микровзрыве на катоде из-за сильного перегрева металла и высокой удельной энергии возникает лавина электронов из металла, получившая название эктон.

Однако среди публикаций на эту тему до настоящего времени еще нет сведений о применении указанного взрывной электронной эмиссии в технологических разработках. Например, это явление может быть использовано в электрофизической и лазерной обработке поверхности металла. Образование диффузионных соединений при сварке давлением в активирующей защитной среде имеют в основе процессы взрывной электронной эмиссии.

Целью работы является исследование явлений на контакте металлических поверхностей при пропуске электрического тока.

Металлическая поверхность обладает шероховатостью и волнистостью. Эти свойства обусловлены предшествующей обработкой. Кроме того металлической поверхности присутствуют окислы и загрязнения. Наличие шероховатости и волнистости приводит к тому, что поверхности контактируют в отдельных «пятнах». Такое пятно состоит из некоторого количества точек.

По данным исследований [8], несмотря на то, что количество одновременно контактирующих микровыступов может быть весьма значительным, суммарная фактическая площадь контакта сопряженных поверхностей во много раз меньше номинальной поверхности контакта и составляет  $10^{-4}$ – $10^{-2}$  ее величины.

Из-за большого различия между номинальной и фактической поверхностью касания при пропуске электрического тока происходит неравномерный разогрев поверхностей контакта. В зоне контакта при пропуске электрического тока возникают зоны локального перегрева, в которых значения величины проходящего тока значительно превосходит величину тока в проводнике [6, 7]. Время установления локального нагрева составляет  $1 - 50 \times 10^{-4}$  с [7]. При прохождении электрического тока через контактирующие металлические поверхности в результате перегрева в «пятнах» контакта могут происходить сложные физико-химические явления. Эти явления связаны с локальным перегревом и микровзрывами в местах прохождения электрического тока.

При прохождении электрического тока через «пятно» контакта происходит выделение тепловой мощности:

$$P = I^2 \cdot R_{пер.} ; \quad (1)$$

где  $I$  – ток;  $R_{пер}$  – переходное сопротивление контакта.

В местах микровзрывов, при испарении контактирующих микровыступов поверхностей образуются пары металлов.

При нагревании металла отдельными импульсами тока большой плотности обнаружены аномалии электронной эмиссии, проявляются в необычно большой величине эмиссии, а также в ее неравновесном характере [1, 2].

Взрывная электронная эмиссия – это единственный вид электронной эмиссии, позволяющий получить потоки электронов мощностью до 1013 Вт с плотностью тока до  $10^9$  А/см<sup>2</sup>. Ток взрывной электронной эмиссии необычен по структуре. Он состоит из отдельных порций электронов 1011, 1012 штук, имеющих характер электронных лавин, получивших название эктонов. Время образования лавин  $10^{-9}$ ,  $10^{-8}$  с [1].

Процессы в электрических контактах весьма сложны и многоступенчаты. Существуют теоретические положения [1–7], на базе которых можно предположить существование некоторых процессов в электрическом контакте.

Электрический контакт при пропускании тока может претерпевать разные стадии от быстрого нагрева до сваривания поверхностей, перегрева и взрыва. Нас интересует стадия нагрева до начала сваривания.

Только при наличии взрывной электронной эмиссии в микрообъемах между поверхностями контакта могут образовываться высокие давления в результате пинчей от прохождения мощных электронных лавин.

При нагревании микронеровностей рельефа контактирующих поверхностей в точках касания происходит электрический взрыв. Выделившаяся энергия превращает частицы металла контактирующих микронеровностей в парообразное состояние. При этом происходит наложение ударных волн микровзрывов. Происходит «многоочечный» электрический разряд. Образуется плазменный промежуток. Процессы выделения энергии, образования ударных волн и их взаимного наложения в микрообъемах между контактирующими поверхностями быстротечны. При развитии контакта полного совпадения контактирующих площадей достигнуть не возможно без приложения необходимой величины давления сжатия и сваривания.

Важнейшими параметрами характерными для наличия плазменного промежутка являются температура и высокое давление между поверхностями контакта.

Давление по оси плазменного канала, возникает вследствие действия пинч-эффекта и может быть описано формулой [9]:

$$P = I^2 / \pi R^2 c^2, \quad (2)$$

где  $I$  – сила тока в плазменном канале;  $R$  – радиус плазменного канала;  $c$  – скорость света в вакууме.

Особенность такой схемы электрического взрыва состоит в том, что в замкнутом объеме на образующийся плазменный канал действуют отраженные волны. Это в свою очередь вызывает резкое торможение движения его границы, расширение канала прекращается, и давление на поверхность значительно возрастает. При этом в канале могут быть достигнуты давления, превышающие давление во фронте ударной волны [10].

В доступных литературных источниках нам не удалось обнаружить данных об экспериментальном доказательстве наличия высоких давлений возникающих при пропускании электрического тока через контакты, и использовании взрывной электронной эмиссии в технологических процессах.

Задачами работы являются:

- разработка схемы эксперимента и выбор материалов для доказательства существования высоких давлений температур в микрообъемах между поверхностями электрического контакта.
- экспериментальное доказательство возможности синтеза новых веществ из исходных продуктов благодаря существованию высоких давлений температур в микрообъемах между поверхностями электрического контакта.

Для этого была предложена экспериментальная модель контакта, состоящую из двух стальных цилиндров (рис. 1) состоящую из двух цилиндров 1, на торцах которых имеются цилиндрические отверстия 2. На контактирующие поверхности наносили необходимое

для исследований вещество 3. После нанесения вещества пропускали импульсный ток через «пятно» контакта с плотностью тока  $4,8 \times 10^5 - 5 \times 10^6 \text{ А/см}^2$ . Нагрев стыка осуществляли до температуры  $1170^\circ\text{C}$ , что ниже температуры плавления контактирующих металлов.

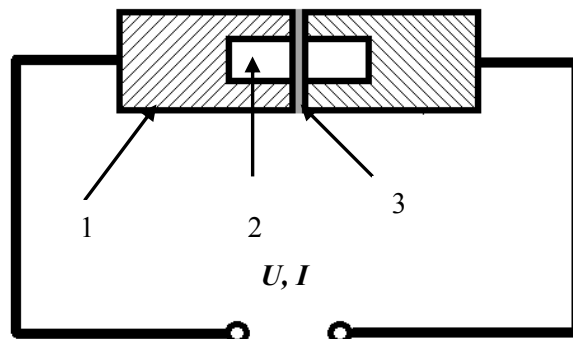


Рис. 1. Схема испытаний

К выбору вещества для исследований имеются определенные требования.

Главным из них является дисперсность материала находящегося между поверхностями контакта.

Реакционная способность вещества определяется энергией Гиббса [11], которая характеризует способность вещества перейти в другое состояние. Степень дисперсности является весьма важной величиной, определяющей свойства дисперсных систем: изменение степени дисперсности данной системы влечет за собой изменение ее свойств. Благодаря изменению степени дисперсности вещества может изменяться реакционная способность. Зависимость объясняется тем, что параллельно с изменением размеров частиц дисперсной фазы меняется величина удельной поверхности и связанный с ней запас поверхностной энергии, следовательно, меняются и свойства системы.

Соответствующее приращение энергии Гиббса:

$$G_d = \pm 2\sigma V_m / r, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – удельная поверхностная энергия вещества;  $V_m$  – мольный объем;  $r$  – радиус кривизны поверхности частицы.

Скорости реакций и температуры фазового перехода в дисперсных системах отличаются от аналогичных параметров в макросистемах. Скорости химических реакций в дисперсных системах значительно выше, чем в макросистемах, а температуры фазового перехода [11] ниже. Применение мелкодисперсных ингредиентов и или продуктов термического разложения материалов в виде аэрозолей или газовой фазы могут сильно влиять на результаты синтеза.

Синтез веществ в электрическом разряде имеет ту особенность, что из-за высокой скорости процессов невозможно наблюдать стадии пиролиза и синтеза ингредиентов. Однако можно получить в результате продукт подтверждающий наличие температуры и давления, необходимых для синтеза веществ.

В числе исследуемых элементов углерод и бор. Указанные вещества представлены как в виде самих элементов, так и в виде их соединений.

Неутвержденная эпоксидная диановая смола при  $20^\circ\text{C}$ , имеет плотность  $\text{г/см}^3$  1,16–1,25 [12].

Бор аморфный, химическая формула В. Бор аморфный представлен маркой А. Внешний вид коричневого порошка. Массовая доля бора % не менее 94,2. Удельная площадь поверхности  $\text{м}^2/\text{г}$  не более 20.

При нанесении различных исследуемых веществ на совмещаемые поверхности стыка 3 их совмещении и нагревании, внутри образцов осаждались продукты взаимодействия.

Результаты эксперимента позволили получить в полости модели контакта 1 новые продукты или их конденсированные пленки 2 (рис. 2).

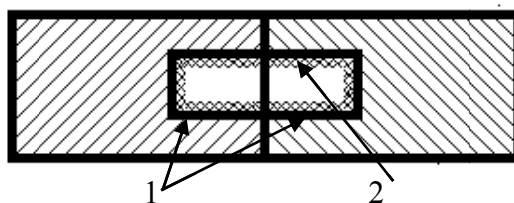


Рис. 2. Схема размещения продуктов в модели контакта

При введении неотвержденной эпоксидной смолы в качестве исследуемого материала и последующего пропускания электрического тока на стенках внутри полого контакта осаждался продукт пиролиза.

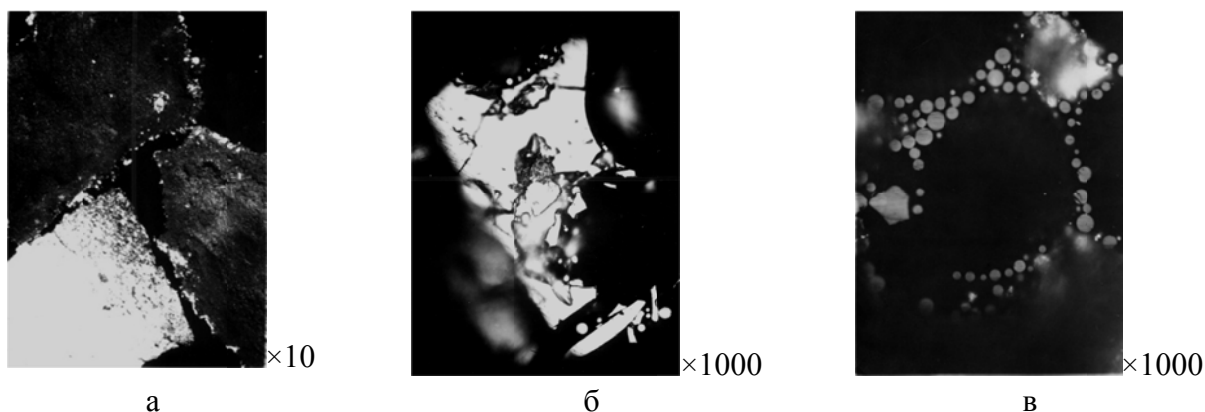


Рис. 3. Строение конденсированной пленки продукта синтезированного из эпоксидной смолы с добавлением солей железа:

а – пленка конденсированная; б, в – синтезированное вещество

Добавление солей железа в неотвержденную эпоксидную смолу позволило получить конденсированную пленку синтезированного продукта строение, которого показано на рис. 3. Внешний вид пленки синтезированного продукта, на котором представлена в виде темного поля внутренняя часть пленки и внешняя часть в виде светлого блестящего поля (рис. 3, а). На микрошлифе внешней части пленки (рис. 3, б), образовавшейся при непосредственном контакте с металлической поверхностью видно, что синтезированное вещество имеет плотную структуру. На микрошлифе внутренней части пленки (рис. 3, в), образовавшейся без непосредственного контакта с металлической поверхностью синтезированное вещество преимущественно имеет форму сферических кластеров.

Сравнивая продукты, полученные в результате пиролиза неотвержденной эпоксидной смолы и синтеза с добавлением солей железа в неотвержденную эпоксидную смолу можно наблюдать влияние добавок на образование кластеров и плотной структуры материалов.

Одним из материалов в эксперименте была представлена смесь неотвержденной эпоксидной смолы и бора аморфного. Бор аморфный имеет мелкодисперсную структуру и легко вводится в пространство между поверхностями контакта. При введении в зону нагрева смеси неотвержденной эпоксидной смолы с бором аморфным и пропускании электрического тока на стенках внутри полого контакта осаждался продукт синтеза, представленный на рис. 4. Полученный материал был темно-коричневого цвета, имел плотную структуру с блестящей поверхностью. Имел высокую твердость, которая позволяла наносить царапины на стекло.

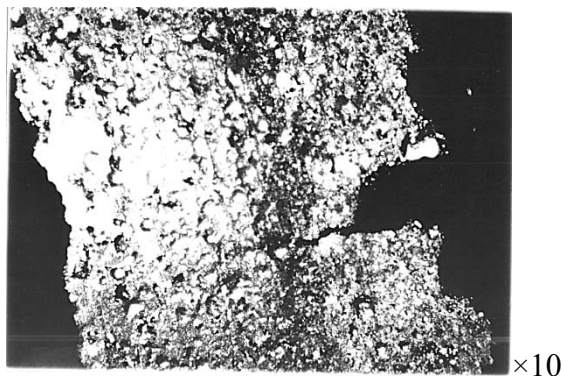


Рис. 4. Конденсированная пленка вещества синтезированного из продуктов пиролиза эпоксидной смолы и бора аморфного

## ВЫВОДЫ

Исследованы явления на контакте металлических поверхностей при пропускании электрического тока. Разработана схема эксперимента и осуществлен выбор материалов.

Экспериментально доказаны возможности не только пиролиза, но и синтеза новых веществ из исходных продуктов в микрообъемах между поверхностями электрического контакта при нагревании их путем пропускания электрического тока.

Полученные результаты свидетельствуют о существовании высоких давлений и температур в микрообъемах между поверхностями электрического контакта. Проведенный эксперимент подтверждает, что взрывная электронная эмиссия, существующая в условиях вакуума [1, 2] имеет место и в технологических средах. Это открывает перспективы применения процесса взрывной электронной эмиссии для синтеза новых материалов в электрическом разряде и создания новых типов технологического оборудования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месяц Г. А. Эктон – лавина электронов из металла / Г. А. Месяц // УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК, Том 165, № 6. – М., 1995. – С. 601–626.
2. Месяц Г. А. Взрывная электронная эмиссия / Г. А. Месяц. – М.: Физматлит, 2011. – 280 с.
3. Месяц Г. Взрывная электронная эмиссия [Электронный ресурс] / Г. Месяц – Россия. Наука. XXI век – Режим доступа : [http://ros-nauka.ucoz.ru/publ/otkrytija/vzryvnaja\\_ehlektronnaja\\_ehmissija/8-1-0-79](http://ros-nauka.ucoz.ru/publ/otkrytija/vzryvnaja_ehlektronnaja_ehmissija/8-1-0-79)
4. Инновации и высокие технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://nano.webtm.ru/no\\_how.php](http://nano.webtm.ru/no_how.php)
5. Демкин Н. Б. Контактное шероховатых поверхностей / Н. Б. Демкин – М., Наука, 1970. – 277 с.
6. Сафонов Л. И. Электрические прямоугольные соединители. Анализ физических процессов в контактах / Л. И. Сафонов, А. Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности, 2007. – № 6.
7. Сафонов А. Л. Электрические прямоугольные соединители. Основные аспекты теории неподвижного электрического контакта / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности, 2008. – № 4.
8. Лебедев С. В. Металлы в процессе быстрого нагревания электрически током большой плотности / С. В. Лебедев, А. И. Савватимский // УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК 1984 г. Октябрь Том 144. – Вып. 2537. – 58 с. – С. 215–250.
9. Джэксон Д. Классическая электродинамика / Д. Джэксон – М.: Наука, 1965.
10. Уруцкоев Л. И. Экспериментальное обнаружение «странного» излучения и трансформация химических элементов [Электронный ресурс] / Л. И. Уруцкоев, В. И. Ликсонов, В. Г. Циноев – ЖУРНАЛ РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКИ электронный журнал. – N 3 – март 2000 г. – Режим доступа : <http://jre.cplire.ru/win/mar00/4/text.html>
11. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов – М., Химия, 1989. – 463 с.
12. Ли Г. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Г. Ли, К. Невилл; пер. с англ. – М., 1973. – 377 с.
13. Розенберг Б. А. «Журн. Всес. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева» / Б. А. Розенберг – 1989, т. 34. – № 5. – С. 453 – 459.