

УДК 621.793

Л.П. Горбачев, С.В. Новиков, В.Б. Соколов,
В.Ф. Федоров, Ю.А. Фролов, П.О. Шишков

**О МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ
В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ**

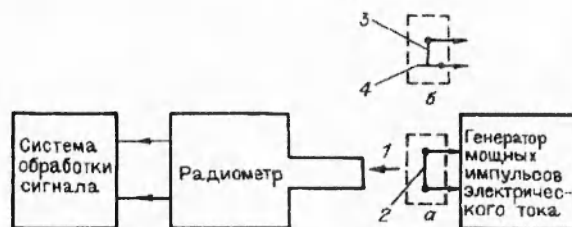
Широкое использование явления электрического взрыва проводников (ЭВП) в научных исследованиях и прикладных работах [1, 2] вызывает необходимость разработки новых экспериментальных методов диагностики сопутствующих физических процессов (ударных волн, импульсов электромагнитного излучения и др.). К числу таких методов относится интенсивно разрабатываемый в последнее время микроволновый (МК) метод. Перспективность МК-метода объясняется изученностью распространения микроволнового излучения (МКИ) в различных средах, точностью и достоверностью информации, получаемой МК-методом. При этом отметим, что изученность основных механизмов генерации электромагнитного излучения в процессах, протекающих в низкотемпературной плазме, позволяет решать обратные задачи восстановления основных параметров плазменного образования, создаваемого нестационарными источниками по характеристикам регистрируемого электромагнитного излучения [3].

Данные по регистрации электромагнитного излучения при ЭВП в оптическом и инфракрасном диапазонах приведены, например, в [4].

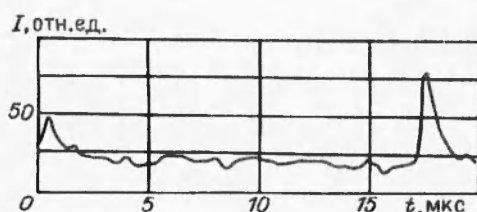
Возможность использования МК-метода диагностики импульсных плазменных процессов при ЭВП связана с необходимостью разработки малоинерционных радиометров. В связи с этим для регистрации импульсных сигналов длительностью $10^{-6} \div 10^{-3}$ с в МК-диапазоне авторами разработан широкополосный радиометр [5] компенсационного типа на длине волны 8 мм (рабочая частота 36 Гц, ширина полосы пропускания $\sim 2\%$ рабочей частоты) со временем накопления в интервале от 10^{-7} до 10^{-4} с, позволяющий регистрировать зависимость от времени спектральной интенсивности МКИ.

В данной работе приводятся полученные экспериментально зависимости от времени спектральной интенсивности МКИ от электрического взрыва проволочек и контактирующих металлических поверхностей.

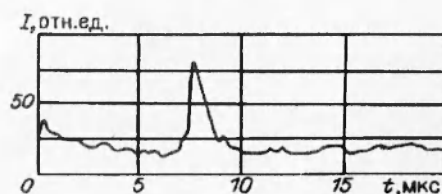
Электрический взрыв медных проволочек диаметром 0,15 мм осуществляли при подводимом начальном напряжении 5 кВ и емкости конденсатора, разряжающегося на проволочку, равной 2 мкФ. Расстояние от среза волновода радиометра до проволочки составляло 3 см. На рис. 1 показана схема эксперимента. Пунктиром обведен узел установки, в котором (а) помещаются проволочка 2 или (б) электрод из твердого сплава 3 и сталь-



Р и с. 1



Р и с. 2



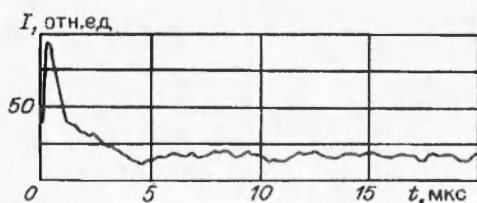
Р и с. 3

ная пластина 4. МКИ 1 электрического взрыва проводника регистрируется радиометром, сигнал с которого поступает на систему обработки сигнала. На рис. 2 и 3 показаны сигналы, зарегистрированные радиометром при взрыве проволочек длиной 1 и 2 см соответственно. Максимуму интенсивности МКИ на рис. 2, 3 отвечает антенная температура ~ 180 кК.

Анализ полученных сигналов приводит к выводу, что эти сигналы представляют собой электромагнитное излучение разрядного тока, причем максимумам интенсивности МКИ соответствуют наибольшие скорости изменения тока. Из рис. 2, 3 видно, что МКИ собственно взрыва отделено от МКИ разряда паузой излучения, примерно совпадающей по времени с паузой тока [1]. Более ранний импульс является МКИ тока, текущего по еще не взорвавшейся проволочке, и запускает радиометр, работавший в ждущем режиме. На рис. 2 амплитуда этого импульса больше амплитуды аналогичного импульса на рис. 3, что объясняется меньшим электрическим сопротивлением и индуктивностью проволочки в первом случае, так как параметры передней части импульса разрядного тока определяются в основном электрическими параметрами проволочки. Далее наступает пауза тока, так как при испарении материала проволочки электрическое сопротивление разрядного промежутка резко возрастает. Через некоторое время происходит электрический пробой продуктов взорвавшейся проволочки и генерируется второй импульс МКИ. Отметим, что экранирование входа в волноводный тракт радиометра приводило к уменьшению сигнала более чем в 3 раза, что свидетельствует о превышении полезного сигнала над наводкой во столько же раз.

Электрический взрыв контактирующих металлических поверхностей создавался при высоковольтном электрическом разряде между электродом из твердого сплава на основе карбида вольфрама и стальной поверхностью. Начальное подводимое напряжение 1,5 кВ, емкость батареи конденсаторов 1800 мкФ. Расстояние от среза волновода радиометра до электрода ~ 20 см.

На рис. 4 представлена зависимость от времени t спектральной интенсивности I МКИ, полученная в данных условиях эксперимента. При экранировании волноводного тракта максимальное значение сигнала уменьшалось приблизительно в 3 раза, что свидетельствует о превышении полезного сигнала над наводкой во столько же раз. Максимальное значение антенной температуры на рис. 4 составляет 210 кК. По мнению авторов, зарегистрированный сигнал, как и в первом случае, является МКИ разрядного тока, так как импульс МКИ образующейся при разряде плазмы должен быть более продолжительным и менее интенсивным. По амплитудно-временным характеристикам спектральной интенсивности МКИ можно судить о параметрах разрядного тока. В частности, ширина импульса МКИ характеризует продолжительность нарастания разрядного тока, а максимум МКИ приходится на момент наибольшей скорости роста тока. При этом отметим, что при электрическом взрыве контакта не генерируется второй импульс МКИ, как в случае электрического взрыва



Р и с. 4

проволочки. По-видимому, это связано с тем, что образующиеся продукты взрыва успевают конденсироваться на электродах, и поэтому повторного пробоя не происходит.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что при ЭВП генерируется достаточно мощное электромагнитное излучение и в микроволновом диапазоне. При повышении чувствительности радиометра возможна регистрация МКИ образующейся плазмы, что позволит определять зависимость от времени ее температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерibas А.А., Исаков В.П., Крейчман Б.М. и др. Нанесение твердосплавных покрытий электрическим взрывом проводников // ФГВ. — 1982. — № 2. — С. 110—116.
2. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Федоров В.Ф. Определение параметров лазерной плазмы по характеристикам микроволнового излучения: Тез. докл. III Межреспубликанского семинара «Физика быстропотекающих плазменных процессов». — Гродно, 1992.
4. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Литуновский В.Н. Электрический взрыв проводников. Обзор ОК-17 / НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. — Л.: НИИЭФА, 1977.
5. Горбачев Л.П., Соколов В.Б., Федоров В.Ф. и др. Исследование импульсных микроволновых излучений радиометрическим методом. — М., 1993. — (Препр. / МИФИ; № 014—93).

г. Москва

Поступила 6/VII 1993 г.,
в окончательном варианте — 17/III 1994 г.

УДК 539.374.662.215.2

В.А. Огородников, А.А. Садовой, Е.С. Тюнькин,
Н.М. Чулков

О ВЯЗКОСТИ АЛЮМИНИЯ И СВИНЦА В УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Многие технические задачи допускают моделирование в рамках бездиссипативных газодинамических течений. В то же время некоторые технические проблемы связаны с большими деформациями различных оболочек, при этом если характерные давления не намного превосходят предел текучести, то существенным является учет упругопластических свойств материалов, который позволяет более корректно рассчитать значения конечных деформаций и оценить разогрев оболочки, обусловленный работой диссипативных сил. Кроме того, для высокоскоростных течений, характеризующихся большой скоростью деформаций, существенными становятся диссипативные потери, обусловленные силами вязкости [1—6].

Разогрев, обусловленный вязкостью, обычно характеризуется большими неоднородностями диссипации кинетической энергии в тепловую. Наибольший локальный разогрев в последнем случае реализуется вблизи различных неоднородностей в деформируемом материале, например вблизи инородных включений, пустот, на границах зерен, плоскостей скольжения и т.д. Очевидно, что неоднородный разогрев материала, обусловленный вязкостью, уменьшает прочностные характеристики материала и тем самым может способствовать развитию деформации по определенным плоскостям и направлениям [6]. Характерными примерами последнего могут служить пробивание материала оболочки осколком или интенсивно исследуемое в последнее время сверхглубокое проникание микроскопических частиц в преграды [7]. Одновременно приведенные примеры могут иллюстрировать состо-

© В.А. Огородников, А.А. Садовой, Е.С. Тюнькин, Н.М. Чулков, 1995