

ДИНАМИКА РАЗДЕЛЕНИЯ ФАЗ ПРИ РАСПАДЕ МЕТАСТАБИЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ВНЕШНЕЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ

А.С. Жигалин, В.В. Кузнецов, И.А. Козулин, В.И. Орешкин,
Н.А. Ратахин, А.Г. Русских

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
630090, г. Новосибирск, Россия*

*Институт сильноточной электроники СО РАН,
634055, г. Томск, Россия*

Метастабильное состояние жидкости и расплава возникает при быстром нагреве до температуры выше температуры фазового равновесия в условиях подавления зародышей новой фазы. Управляемый распад метастабильной жидкости активно используется в МЭМС системах управления, например, в оптических переключателях и затворах, пузырьковых принтерах, микро насосах.

В работе экспериментально изучены динамика метастабильного состояния вещества при импульсном нагреве жидкости на микронагревателе и электрического взрыва проводников. Взрывное кипение на микронагревателях исследовано в работах [1, 2]. Для изучения взрывного кипения на микронагревателе была использована оптическая методика регистрации зародышеобразования, детально представленная в работе [2]. Исследование распада метастабильной жидкости проведено при характерных временах перевода в метастабильное состояние от 1 до 10 мкс. Вторым направлением динамика разделения фаз при распаде метастабильного вещества является электрический взрыв проводника, [3]. Изучение процессов динамика разделения фаз при распаде метастабильного вещества на микронагревателе и при электрическом взрыве проводников позволило выработать общий подход к описанию этих явлений.

На рисунке 1 и 2 сплошной темной линией приведено нормализованное напряжение на нагревателе, светлой линией представлена динамика заполнения поверхности нагревателя пузырьками пара для этиленгликоля при приведенной плотности тепловыделения $q_{eff}=756 \text{ МВт/м}^2$ и $q_{eff}=2208.5 \text{ МВт/м}^2$. При малых тепловых потоках, рисунок 1, после завершения импульса нагрева наблюдается взрывное вскипание жидкости, связанное с экспоненциальным ростом числа пузырьков пара на микронагревателе.

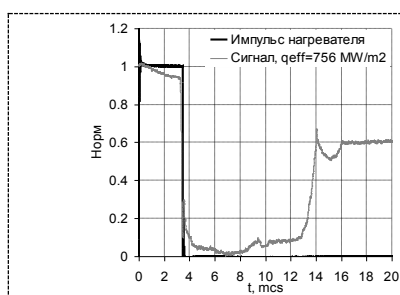


Рис. 1. Интенсивность лазерного излучения, отраженного от поверхности нагревателя для этиленгликоля при плотности теплового потока $q_{eff}=756 \text{ МВт/м}^2$.

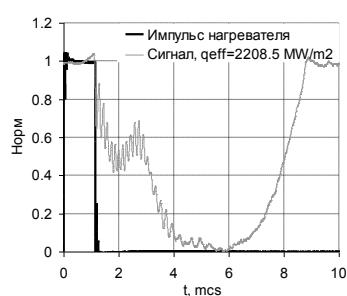
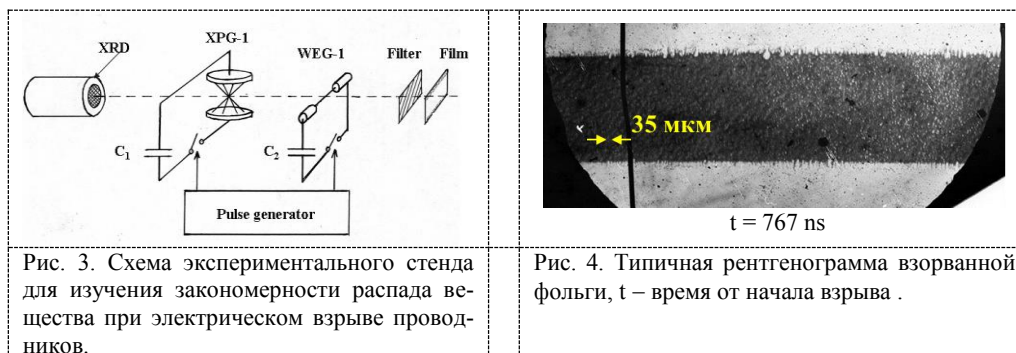


Рис. 2. Интенсивность лазерного излучения, отраженного от поверхности нагревателя для этиленгликоля при плотности теплового потока $q_{eff}=2208.5 \text{ МВт/м}^2$.

При больших тепловых потоках на начальной стадии вскипания наблюдается интерференционная картина, связанная с появлением на нагревателе тонкой паровой пленки, покрывающая поверхность нагревателя, рисунок 2. Пузырьковый распад имеет взрывной характер, весь процесс кипения происходит за времена от 8 до 13 мкс.



Для изучения закономерности распада вещества при электрическом взрыве проводников была создана экспериментальная установка, состоящая из двух синхронизованных генераторов тока, рисунок 3. Один из генераторов тока (WEG-1) обеспечивал взрыв алюминиевой фольги толщиной 5 мкм и 7.8 мкм. Второй генератор – радиограф XPG-1 с нагрузкой в виде x-пинча использовался в диагностических целях. X-пинч представлял собой четыре скрещенных вольфрамовых проводника диаметром 13 мкм. С помощью излучения x-пинча регистрировалось пространственное изображение взрывающегося проводника. Эксперименты проведены с различными толщинами взрывающейся фольги и с различными напряжениями зарядки U_0 .

Экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что при плотностях вложенной энергии $7 \div 9$ кДж/г реализуется режим объемного вскипания, вызванного пузырьковым распадом перегретого метастабильного металла, показанный на рисунке 4. Максимальный энерговыход в данном режиме составил 8.9 кДж/г, что в 22 раза превышает энергию плавления и составляет 82% от энергии сублимации. Определен верхний предел времени распада перегретого металла. Для алюминия при значениях энергии, вложенной в проводник, 3.5-4.5 кДж/г время распада метастабильного состояния меньше 100 нс. Для этих условий определена частота нуклеации, величина которой превышает значение $10^{14} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$, и энергия образования критического зародыша, которая равна 9 ± 0.3 эВ. Проведено обсуждение механизмов распада перегретого металла в рамках теории пузырькового распада метастабильной жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Сибирского Отделения РАН, интеграционный проект №74.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hong Y., Ashgriz N. and Andrews J.** Experimental Study of Bubble Dynamics on a Micro Heater Induced by Pulse Heating // J. Heat Transfer, 2004. Vol. 126. P. 259-271.
2. **Kuznetsov V.V., Vasserman E.S.** Explosive vaporization dynamics on a flat microheater // Proc. 3-rd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation. 2004. Pisa. Paper ven 04.
3. **Sinars D.B. et al.** Experiments measuring the initial energy deposition, expansion rates and morphology of exploding wires with about 1 kA/wire // Phys. Plasmas. 2001. Vol.8. №1. P.216-230.