

2. Л.Е. Шелимова, О.Г. Карпинский, П.П. Константинов и др., Неорганические материалы 40, 530-540 (2004).
3. Л.Е. Шелимова, Т.Е. Свечникова, О.Г. Карпинский и др., Неорганические материалы 43, 2, 165 – 171 (2007).
4. V.T. Bublik, A.I. Voronin, N.Yu. Tabachkova e. a., Inorganic materials 47,14, 77-82 (2011).
5. A.I. Voronin, V.T. Bublik, N.Yu. Tabachkova e. a., Journal of electronic materials 40, 5, 794-800 (2011).
6. V.T. Bublik, A.I. Voronin, Vygovskaya E.A. e. a. // Inorganic Materials, 47, 14, 1563 – 1568 (2011).
7. В.В. Аленков, Ю.М. Белов, В.Т. Бублик и др., Материалы электронной техники 2, 22 – 25 (2008).

Научные руководители: Н.Ю. Табачкова, к.ф.-м.н., ст.н.с. каф. материаловедения полупроводников и диэлектриков, А.И. Воронин, инженер 1 кат. каф. функциональных наносистем и высокотемпературных материалов.

РАСПАД СУЩЕСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

М.В. Пискунов, А.О. Опарин
Томский политехнический университет

Введение

Результаты исследований [1] показывают, что за счет введения в капли воды объемом 5–15 мкл одиночных частиц (объемом не менее 50–70 % от объема капли воды), изготовленных из графита природного происхождения, могут быть достигнуты условия интенсивного фазового перехода внутри капель (на границах раздела «включение – жидкость»), сопровождающегося взрывным дроблением слоя жидкости. Установленный эффект представляет интерес для разработки и совершенствования технологий пожаротушения с применением потоков жидкости с твердыми примесями [2] и высокотемпературной очистки существенно неоднородных вод [3].

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование количественных (число и размер отделяющихся фрагментов жидкости, увеличение площади поверхности теплообмена) характеристик взрывного дробления слоев жидкости капель, содержащих одиночные твердые включения, при интенсивном фазовом переходе на внутренних границах раздела «одиночное включение – слой жидкости». Исследование проводится при высокотемпературном нагреве неоднородных капель жидкости без направленного движения потока газовой среды (нагрев в печи в воздушной среде при атмосферном давлении).

Экспериментальный стенд и методы исследований

Для экспериментального исследования закономерностей фазовых превращений капель воды с твердыми непрозрачными включениями при нагреве в высокотемпературной газовой среде разработан экспериментальный стенд,

схема которого представлена на рис. 1. Оборудование и экспериментальная методика по большей части аналогичны тем, которые применены в исследовании [1]. Однако, в данном случае создание высокотемпературной газовой (воздушной) среды обеспечивает муфельная трубчатая печь 3. Контроль и установление необходимой температуры нагрева выполняется с помощью интегрированных регулятора и термопары типа *S* (платинородий-платиновая; максимальная рабочая температура 1623 К, предел допускаемых отклонений ± 1 К). Использование муфельной печи делает возможным проведение экспериментов при поддержании постоянной температуры нагрева, в отличие от экспериментов [1], где соблюдение этого параметра являлось довольно сложным. В данном экспериментах температура нагрева варьировалась в диапазоне от 1073 до 1373 К. Высокоскоростная видеокамера 1 осуществляла регистрацию изучаемых процессов, находясь по одну сторону от печи, а ввод неоднородных капель в полость трубки нагрева до зоны видеорегистрации обеспечивался работой передвижного механизма 6 с другой стороны (рис. 1). Неоднородная капля в настоящем исследовании состоит из твёрдого включения (материал – графит природного происхождения) в форме куба или параллелепипеда, которое полностью покрывается слоем водопроводной воды. Размеры графитовых частиц следующие: $2 \times 2 \times 1$ мм, $2 \times 2 \times 2$ мм и $2 \times 2 \times 3$ мм. Твёрдые включения использовались единожды (т.е. каждый опыт применялось новое включение). Объём слоя воды составлял 5, 10 и 15 мкл. Также в опытах в состав неоднородных капель воды добавлялась суспензия графита (размер частиц – 0,05 мм; массовая концентрация – 2 %). Перед проведением очередного эксперимента твёрдое включение механически закреплялось на тонком заострённом стержне 9, изготовленном из теплоизоляционного материала (керамика). На включение опускалась капля воды / суспензии заданного объема. Таким образом формировалась неоднородная капля воды.

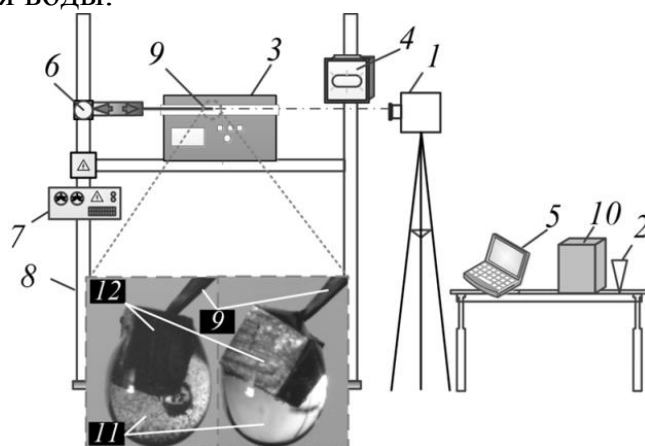


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростная камера; 2 – дозирующее устройство; 3 – муфельная печь; 4 – прожектор; 5 – компьютер; 6 – моторизованное координатное устройство (МКУ); 7 – блок питания МКУ; 8 – алюминиевая стойка; 9 – керамический стержень; 10 – аналитические весы; 11 – капля воды / суспензии; 12 – твердое включение

Записанные видеоматериалы обрабатывались в программном обеспечении «Phantom Camera Control». Основной задачей при обработке снятых данных являлось определение количественных характеристик процесса дробления

слоя жидкости вокруг твёрдого включения (размеры отделяющихся капель и их количество). Полученные данные использовались для вычисления такой величины как суммарная площадь поверхности отделившихся в процессе дробления капель воды S_{out} (в рамках одного опыта, а также серии экспериментов), которая в настоящем исследовании представляла наибольший с практической точки зрения интерес. Систематические погрешности измерения размеров отделяющихся при дроблении капель составили не более 0,001 мм, определения временных характеристик процессов – $\pm 0,01$ с. Серия экспериментов при идентичных условиях нагрева (размер твёрдого включения, объем жидкости, ее начальная температура, полное обволакивание включения каплями жидкости, применение ранее неиспользованного включения в каждом опыте) включала семь опытов, которые, как уже указывалось выше, проводились в диапазоне температур нагрева $T_g=1073-1373$ К с шагом 50 К. В каждой серии варьировались размеры включений и начальные объёмы жидкости.

Процедура экспериментов с использованием муфельной трубчатой печи включала следующие основные пункты: введение закреплённой на стержне 10 неоднородной капли в полость нагревательной трубки печи 3; запуск высокоскоростной съёмки в процессе движения капли в зону регистрации; выведение твёрдого включения 12 после полного испарения обволакивающего его слоя капли воды / суспензии 11 из высокотемпературной области; подготовка к следующему опыту; проведение серии экспериментов; обработка полученных видеogramм опытов.

Результаты и обсуждение

Для установления режимов взрывного дробления неоднородных капель жидкости при наличии в их составе частиц порошка графита и сравнения полученных данных о количестве и размерах отделяющихся капель при парообразовании слоев воды и суспензии проведены эксперименты, результаты которых представлены на рис. 2.

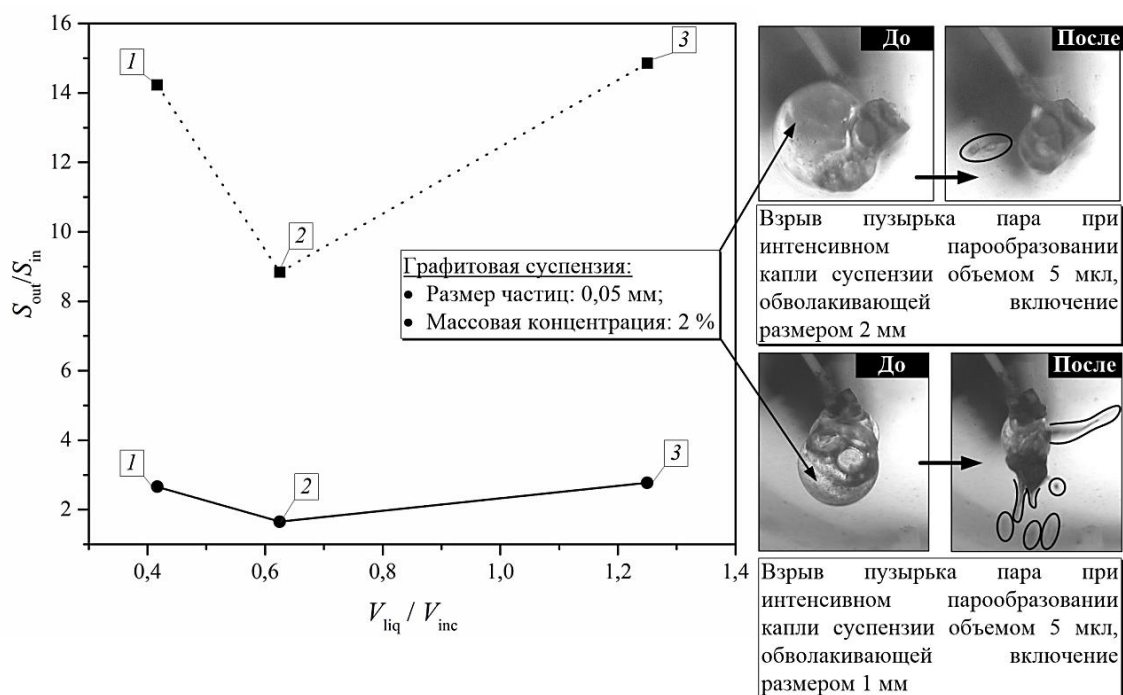


Рис. 2. Зависимости отношения площади поверхности испарения жидкости после взрывного дробления (S_{out}) к начальной площади поверхности (S_{in}) капли (объемом 5 мкл) от отношения объемов жидкости (воды или графитовой суспензии) V_{liq} и включения V_{inc} в неоднородной капле: 1 – параметр V_{liq}/V_{inc} при размере включения 2×2×3 мм; 2 – V_{liq}/V_{inc} при размере включения 2×2×2 мм; 3 – V_{liq}/V_{inc} при размере включения 2×2×1 мм

На рис. 2 видно, что минимальные значения отношения S_{out}/S_{in} соответствуют условиям использования включения в форме куба с размерами 2×2×2 мм. Установлено, что при использовании включения в форме куба происходит довольно равномерное его обволакивание водой. При этом приток энергии внешней газовой среды к поверхности включения со всех сторон проходит с примерно равной скоростью. В случае включения в форме параллелепипеда толщина пленки на всех гранях была отличной. Это приводило к неравномерному прогреву неоднородной капли. На гранях включений с минимальной пленкой жидкости происходило зарождение пузырьков и интенсивное дробление. Поэтому в экспериментах с включениями в форме параллелепипеда дробление начиналось раньше и характеризовалось отрывом большего числа капель. Как следствие, и отношения S_{out}/S_{in} в этом случае выше.

Взрывное дробление капель суспензий характеризуется (рис. 2) меньшими значениями S_{out}/S_{in} по сравнению с водой (т.е. при дроблении слоя суспензии формируется меньше капель жидкости). По видеоданным установлено, что частицы суспензии при формировании пузырьков пара на поверхности основного включения «сбиваются» в группы. При дроблении формировались жидкостные фрагменты с скопившимися твердыми частичками. Чем крупнее были области с такими скопившимися фрагментами, тем крупнее были отрывающиеся капли. Как следствие, в экспериментах с суспензиями формирующиеся при дроблении капли были больших размеров, чем в опытах с водой. Но число таких отрывающихся капель было существенно меньше, чем в экспериментах с водяными

неоднородными каплями. Как следствие, отношения S_{out}/S_{in} для суспензии были меньше.

Заключение

Установлено, что за счет эффекта взрывного дробления слоя воды неоднородной капли площадь поверхности теплообмена может увеличиться практически в 15 раз. Однако, при использовании суспензии графита выявлено менее значительное (двух-, трехкратное) увеличение площади поверхности испарения. Благодаря скоростной съемке удалось установить, что причиной таких различий параметра S_{out}/S_{in} является свойство частиц скапливаться в группы (агломераты) при интенсивном парообразовании слоя жидкости неоднородной капли, обеспечивая при этом условие увеличения размеров и уменьшения количества отделяющихся жидкостных фрагментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД-2806.2015.8) и стипендии Президента Российской Федерации (СП-1049.2016.1).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas // *Int. J. Heat Mass Transf.* – 2016. – V. 92. – P. 360–369.
2. Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area // *Int. J. Therm. Sci.* – 2015. – V. 88. – P. 193–200.
3. Кофман Д.И., Востриков М.М., Антоненко А.В. Барабанные инсинераторы для термического уничтожения иловых осадков сточных вод // *Химическое и нефтегазовое машиностроение.* – 2009. – № 9. – С. 41–43.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., зав. каф. АТП ЭНИН ТПУ.

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

К.К. Назаров, А.А. Абдулаев

Дагестанский государственный технический университет

Установка затрагивает область электроники, тем самым, имеет непосредственное отношение к устройствам, предназначенным для выпрямления переменного электрического напряжения. Главной целью данной установки служит повышение, генерирующим устройством, величины постоянного напряжения.