

4. Райлян М. В поиске новых методов. – «Нефтяник Западной Сибири» – 2012 – №25.

ИСПАРЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ ГРАФИТА НА ОСНОВЕ ВОДЫ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

А.Г. Борисова, М.В. Пискунов, К.А. Рыбацкий

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Результаты теоретических и экспериментальных исследований теплофизических свойств неоднородных (гетерогенных) жидкостей успешно используются при разработке технологий в различных отраслях промышленности. Следует отметить, что в основном различные примеси и добавки в жидкостях способствуют улучшению их теплофизических свойств [1]. Этот эффект позволяет достигать большей производительности и эффективности рабочих жидкостей.

Для исследования эффектов интенсификации теплообмена жидкости с какой-либо средой за счет добавления различных примесей важным является изучение процессов фазовых превращений на границах раздела сред «твердая частица – жидкость». Кроме того, определение доминирующего механизма фазовых превращений, а также масштабов совместного влияния испарения и парообразования гетерогенных жидкостей также является необходимым для расширения экспериментальной базы данного направления исследований. Более того, полностью или частично отсутствуют теоретические данные, описывающие процессы фазовых превращений как однородных, так и неоднородных жидкостей при их нагреве в высокотемпературных (900–1100 К) средах. Достижение таких высоких температур на объектах указанных выше отраслей промышленности является систематическим и во многих случаях входит в диапазоны рабочих температур. Таким образом, целесообразным является проведение экспериментальных исследований указанных процессов при высоких температурах, а анализ и обработка полученных результатов позволит дополнить существующие гетерогенные высокотемпературные технологии (например, [2]).

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния добавления частиц графита различных размеров в капли воды на процесс интенсификации их испарения.

Эксперименты выполнены на стенде, схема которого изображена на рисунке 1.

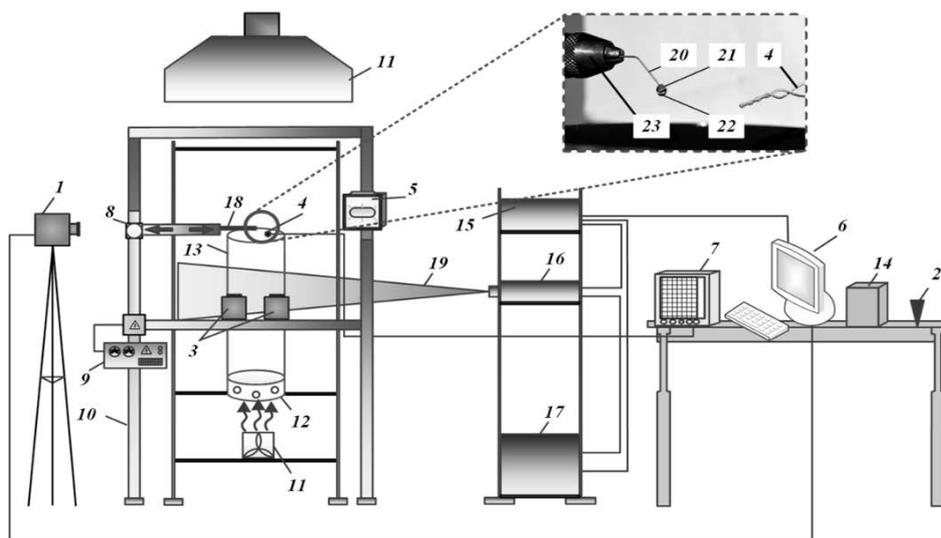


Рис.1 Схема экспериментальной установки: 1 – высокоскоростная видеокамера, 2 – дозатор, 3 – кросс-корреляционные видеокамеры, 4 – термопара, 5 – прожектор, 6 – персональный компьютер (ПК), 7 – регистратор температуры, 8 – передвижной координатный механизм, 9 – источник питания для передвижного механизма, 10 – алюминиевая стойка, 11 – система обеспечения воздушного потока, 12 – горелка, 13 – цилиндр из кварцевого стекла, 14 – аналитические весы, 15 – синхронизатор ПК, кросс-корреляционных видеокамер и лазера, 16 – лазер, 17 – генератор лазерного излучения, 18 – направляющая для закрепления керамического стержня, 19 – лазерный «нож», 20 – керамический стержень, 21 – крупное графитовое включение, 22 – капля воды / суспензии, 23 – устройство для закрепления керамического стержня

При проведении опытов применена высокоскоростная видеорегистрация для установления временных характеристик и визуализации особенностей процесса испарения капель. По основным этапам методика проведения экспериментов являлась аналогичной примененной в [2]. Для установления влияния мелких графитовых включений в каплях воды на процесс интенсификации их испарения исследовалось два типа суспензий и вода без дополнительных примесей: № 1 – размер частиц графита $d_p = 0,05$ мм, массовая концентрация частиц графита в объеме воды $\gamma_p = 1$ %; № 2 – $d_p = 0,05$ мм, $\gamma_p = 2$ %; № 3 – вода. На крупное

графитовое включение 21 в форме куба со стороной 2 мм, закрепленное на керамическом стержне 20 (рис. 1), опускалась капля воды или суспензии объемом 5, 10 или 15 мкл. Такие включения предварительно взвешивались с использованием аналитических весов 14. В каждом опыте полное обволакивание включения 21 каплей воды или суспензии 22 являлось строго обязательным условием. С применением системы, состоящей из 3, 6, 15, 16 и 17 осуществлялся контроль скоростей движения потока продуктов сгорания технического спирта. С помощью высокоскоростной видеокамеры 1 и программы «Phantom Camera Control» определялись времена существования (полного испарения) каплей воды или суспензий 22, а также регистрировались особенности их фазовых превращений на границах раздела сред «графит – вода» и «воды – продукты сгорания». Контроль температуры газовой среды выполнялся хромель-алюмелевой термопарой 4. Запись показаний термопары 4 выполнялась регистратором температуры 7. Конечная обработка данных проводилась на ПК 6.

При одинаковых условиях (размер, форма, масса крупных графитовых включений, температура продуктов сгорания и скорость их движения, начальная масса каплей суспензий / воды) проводилось три серии экспериментов по 4 – 6 опытов.

Систематические погрешности определения времен существования каплей воды / суспензий составляли менее 10^{-3} с. Систематические погрешности средств измерения размеров включения – 0,05 мм. Случайные погрешности определения температуры газовой среды и времен существования каплей составили 9 %.

На рисунке 2 приведены времена существования неоднородных каплей жидкости объемом 5 мкл с массовыми концентрациями мелких (диаметром 0.05 мм) графитовых частиц 1 % (2) и 2 % (3), а также без добавления частиц (1). Во всем рассматриваемом диапазоне температур нагрева наблюдается сокращение времен существования неоднородных каплей жидкостей за счет добавления мелких графитовых включений. Наименьшие времена существования характерны для каплей воды с массовой концентрацией графитовых включений 2 %. Можно утверждать о существенной интенсификации испарения каплей воды объемом 5 мкл.

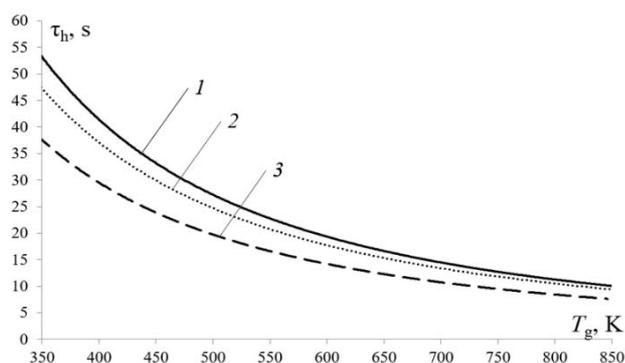


Рис. 2 Времена полного испарения неоднородных каплей жидкости объемом 5 мкл с массовыми концентрациями мелких (диаметром 0.05 мм) графитовых частиц 1 % (2) и 2 % (3), а также без добавления частиц (1)

Необходимо отметить, что также мы провели эксперименты с каплями объемом 10 и 15 мкл. Сделано предположение о формировании парового слоя на поверхности рассматриваемых каплей вследствие активации механизма парообразования на границах раздела сред «мелкое графитовое включение – вода» при высоких (около 850 К) температурах нагрева. Формирование такого слоя с низкой теплопроводностью увеличивало время существования каплей суспензий в высокотемпературной газовой среде.

Подробное исследование процессов парообразования на границе «твердая частица – жидкость», в частности, процессов образования и эволюции пузырьков пара является целесообразным для обоснования и дополнения выдвинутого предположения.

Установлено, что неоднородная капля суспензии объемом 5 мкл с массовой концентрацией мелких графитовых включений 2 % испаряется быстрее (до 30 %), чем неоднородная капля воды такого же объема. Сделано предположение о формировании парового слоя у поверхности неоднородных каплей жидкости при их испарении в высокотемпературной (850 К) газовой среде и его негативном влиянии на времена существования каплей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД-2806.2015.8).

Литература

1. 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// International Journal of Thermal Sciences. – 2015. – V. 88. – P. 193 – 200.
2. Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas// International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – V. 92. P. 360 – 369.