

«ВЗРЫВ» НЕОДНОРОДНОЙ КАПЛИ ВОДЫ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

М.В. Пискунов, А.А. Щербинина

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Газопарокапельные смеси в последнее время довольно широко используются в различных высокотемпературных технологиях (например, [1]). В частности, одним из направлений использования газопарокапельных смесей является технология воздействия на пламя «тонкораспыленной» водой при тушении лесных пожаров. Как теоретические [2], так и экспериментальные [1] исследования в данной области показывают, что внедрение типичных твердых металлических и неметаллических включений (частиц разных форм и размеров) в состав тушащей жидкости существенно увеличивает коэффициент ее полезного использования. Представляет интерес экспериментальное исследование влияния соразмерных с каплей жидкости твердых включений на интенсивность испарения жидкости в пламенной зоне горения и возможное «взрывное» парообразование.

Измельчение капель тушащего средства за счет предполагаемого «взрывного» парообразования увеличит площадь покрытия пламени парокапельным облаком. В таком случае, целесообразным представляется определение необходимых и достаточных условий, при которых можно идентифицировать различия фазовых превращений (испарение жидкости, «взрывное» парообразование) капель воды с твердым включением.

Цель настоящей работы – экспериментальное определение условий «взрывного» парообразования неоднородной капли воды при нагреве в высокотемпературной газовой среде.

Экспериментальный стенд и методы исследований

При проведении экспериментальных исследований использовался стенд (рис. 1), по основным элементам аналогичный применяемым в экспериментах [1].

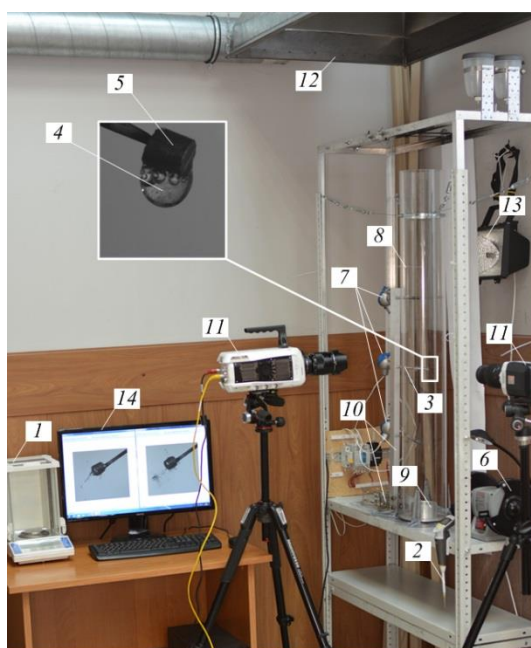


Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда: 1 – весы, 2 – дозатор, 3 – стержень (держатель включения), 4 – капля, 5 – включение, 6 – комплекс для изготовления включения, 7 – термомпары, 8 – цилиндр из кварцевого стекла, 9 – горелка, 10 – передвижные механизмы, 11 – высокоскоростные видеокамеры, 12 – нагнетательная система, 13 – прожектор, 14 – персональный компьютер (ПК)

Выполнялась высокоскоростная видеорегистрация процесса испарения неоднородной капли на керамическом стержне 3. При этом использовались две высокоскоростные (до 10^5 кадров в секунду) видеокамеры («Phantom V411» и «Phantom MiRo M310») 11. Неоднородная капля воды закреплялась в канале цилиндра 8 из кварцевого стекла (высота 1 м, внутренний и внешний диаметры – 0,2 м и 0,206 м), заполненного продуктами сгорания с контролируемой температурой. Определение и изменение характерных размеров неоднородной капли в регистрационных областях видеogramм определялось на ПК 14 с использованием программного обеспечения «Phantom Camera Control» и «Tema Automotive».

В основание цилиндрического канала 8 устанавливалась горелка 9, в которую заливалась горючая жидкость – технический спирт (этот выбор обусловлен минимальным дымообразованием, что, в свою очередь, обеспечивает более контрастное изображение регистрируемой капли).

Температура газовой среды в цилиндре 8, контролируемая тремя хромель-алюмелевыми термоэлектрическими преобразователями 7 (диапазон измеряемых температур 273–1373 К, погрешность измерения $\pm 3,3$ К), фиксировалась на разных уровнях по высоте (0,3; 0,5; 0,7 м) относительно основания горелки 9. Для этих целей в цилиндре 8 предусмотрены соответствующие отверстия. Верхнее отверстие (0,7 м) также использовалось для ввода в канал (после измерения температуры продуктов сгорания) стержня 3 с закрепленной каплей воды 4 с твердым включением 5.

Методика проведения эксперимента включала следующие этапы. Капля заданной массы из дозатора 2 опускалась на твердое включение 5 и затем вводилась в верхнее отверстие цилиндра 8, заполненного продуктами сгорания. После ввода капли в высокотемпературную газовую среду проводилась высокоскоростная видеорегистрация процесса ее испарения с фиксацией изменения ее размеров и толщины пленки. Используя скоростные видеокамеры 11 и программное обеспечение «Тема Automotive», определялись характерные времена нагрева неоднородной капли до «взрывного» распада (несколько капель с меньшими размерами) или полного испарения в виде единой капли.

Результаты исследований и их обсуждение

Полученные результаты позволили определить и разделить на характерные стадии реализации исследуемого процесса наиболее типичный механизм испарения неоднородной (с твердым включением) капли воды в высокотемпературной (более 650 К) газовой среде. На рис. 2 приведены типичные кадры с изображением неоднородной капли в характерных стадиях реализации исследуемого процесса.

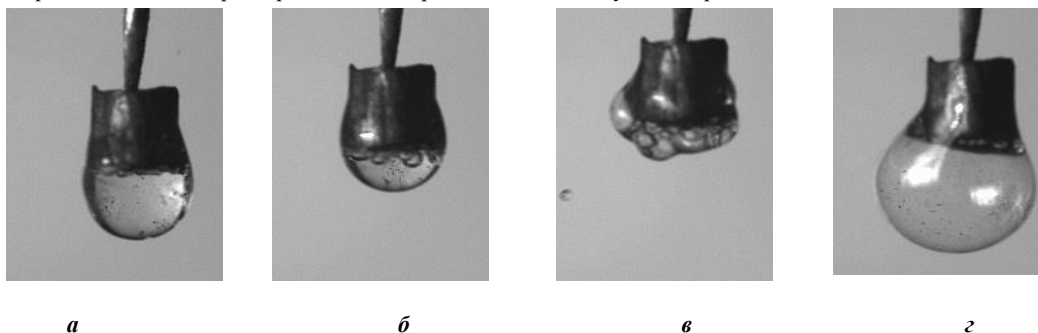


Рис. 2 Типичные кадры с изображением капли воды (объемом 15 мкл) с графитовым включением ($h=2$ мм, $d=2$ мм) для характерных стадий реализации процесса «взрывного» парообразования: а, б – прогрев капли, испарение с внешней поверхности и зарождение пузырьков на внутренних границах раздела сред; в – укрупнение пузырьков и отрыв от границы раздела сред; г – набухание (увеличение размеров) капли за счет объединения пузырьков

Выполненные экспериментальные исследования показали, что «взрыв» (распад) неоднородной капли воды с диаметром 3–4 мм при температурах внешней газовой среды не менее 650 К происходит в течение нескольких секунд с момента нагрева (1–3 с). Если говорить об однородных каплях с такими размерами [3], то их времена существования в идентичных условиях значительно больше (как правило, не менее 10 с). При температурах менее 650 К во всех экспериментах наблюдалось интенсивное испарение с внешней поверхности, а также формирование пузырьков вблизи внутренних границ раздела сред. Такой механизм фазовых превращений характеризуется большими значениями времен существования капель (30–40 с).

Результатом анализа установленных особенностей «взрывного» парообразования капли воды с твердым включением в высокотемпературной газовой среде является определение параметров, способствующих реализации данного эффекта.

Заключение

Установлено, что условия «взрывного» парообразования неоднородных капель размерами 2–4 мм возможны при температуре газов более 650 К. При этом характерные времена существования капель составляют несколько секунд.

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

Литература

1. Волков Р.С., Высокоморная О.В., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания//Бутлеровские сообщения, 2013. – Т. 35. - № 9. – С. 38- 46.
2. Высокоморная О.В., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде//Инженерно-физический журнал, 2013. – Т. 86. – № 1. – С. 59 – 60.
3. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion zone//Fire Safety Journal, 2014. – V. 70. – P. 61–70.