

тепловой метки. С течением времени ее размеры увеличиваются, а размеры промежутков уменьшаются.

За время жизни метки принимали время, в течение которого изменение ее линейных размеров не превышало 10%. Чем меньше метка, тем, естественно, и меньше время ее жизни. При длине метки, равной 2 мм, оно составляло 0,02 с, для непрерывных меток время жизни при прочих равных условиях — 0,06 с.

Анализ развития тепловых меток во времени, созданных на горизонтально расположенной проволочке, показал, что в этом случае время жизни меток не превышает 0,03 с из-за эффекта «всплывания» меток над проволочкой. Следует отметить, что требования к меткам, используемым лишь для визуализации течения, менее жесткие, чем те, которые предъявляются к измерительным меткам.

Предложенный способ визуализации движения газа в двумерных потоках может быть использован, например, при исследовании гидродинамики вблизи фронта пламени, распространяющегося в горизонтальной трубе. Особенно удобно использование данного способа при изучении профиля скорости потоков, так как имеется реальная возможность различать метки, созданные в разных плоскостях.

На рис. 3 приведена серия моментальных фотографий, иллюстрирующих визуализацию профиля течения газа при выхлопе свежей смеси из реакционной трубы в атмосферу. Труба была заполнена сухой метоповоздушной смесью, содержащей 7% C_2H_4 , а процесс горения в ней организован так, что перед фронтом пламени движется слабая ударная волна, которая при выходе из трубы распадается на проходящую ударную волну, отраженную волну разрежения и поверхность контактного разрыва между ними. Профиль течения визуализировали в области между ударной волной и поверхностью контактного разрыва. На расстоянии 100 мм от открытого холодного конца трубы в одной и той же плоскости, перпендикулярной оси трубы, созданы дискретные тепловые метки, различающиеся между собой размерами и промежутками. Метки 2 созданы на оси трубы, а метки 1 — на расстоянии 20 мм от нее. Видно, что в первые моменты времени после возникновения движения метки обоих типов движутся практически с одинаковыми скоростями — следы их движения совпадают. С течением времени скорость газа в центре вытекающей среды становится больше, чем на периферии, — метки 2 движутся быстрее меток 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Д. Саламандра, И. К. Федосеева. — В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1972.
2. Г. Д. Саламандра, И. К. Федосеева. Бюл. изобр., 1977, 18.

УДК 542.971.3

МЕТОДИКА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ В СВОБОДНОПАДАЮЩЕЙ КАМЕРЕ

В. И. Колесников-Свинарев, Г. П. Кузнецов, О. И. Лейпунский
(Москва)

В подавляющем большинстве теоретические модели горения частиц металла строятся на предположениях центрально-симметричной картины процессов, т. е. не учитывается влияние конвективных потоков, обдувающих горящую частицу, и силы тяжести. Поэтому экспериментальная проверка выводов теорий, построенных по этой схеме, требует применения специальных приемов. Полностью моделируют такие условия

горения опыты с отдельными частицами металла, горящими в свободнопадающей камере.

Данная методика создана с целью дальнейшего совершенствования разрабатываемых в ИХФ АН СССР методик экспериментального исследования процесса горения частиц металла в свободнопадающей камере.

В основу схемы новой установки положен использованный в [1, 2] принцип наблюдения за поведением частицы металла, горячей внутри падающей герметичной камеры. В методику эксперимента введен ряд коренных изменений и дополнений.

На рис. 1 представлена схема основной части экспериментальной установки — падающей платформы. Фотографическое устройство рефлекторного типа, кассета 9 с фотопластинкой и камера 10, в которой сжигается частица 13, жестко смонтированы внутри сварного каркаса и во время опыта неподвижны относительно друг друга. Сам каркас имеет возможность свободно (практически без трения) скользить на роликах 5 по направляющей стойке 3.

Изображение зоны горения на фотопластинке строится при помощи сферического вогнутого зеркала 8, установленного внутри сварного каркаса против смотрового окна камеры. Зеркало укреплено в рамке, способной совершать при помощи электродвигателя 11 небольшие колебательные движения вокруг вертикальной оси. Такое сканирование изображения зоны горения вдоль фотопластинки дает возможность следить за развитием процесса горения во времени. Помещенный перед зеркалом обтюратор 7, смонтированный на оси синхронного двигателя 6, формирует из непрерывной развертки отдельные кадры, изображающие зону горения. Различные сочетания скоростей сканирования и вращения обтюратора позволяют варьировать скорость съемки в широких пределах. Такое покадровое фотографирование дает возможность следить не только за развитием процесса во времени, но и точно фиксировать в каждый момент времени положение горячей частицы внутри камеры, а следовательно, и исследовать закон торможения в газе горячей частицы.

Для контроля за нахождением частицы в плоскости фотографирования (так как только в этом случае обеспечиваются четкое изображение и точная передача размера зоны горения) используется аппарат, фотографирующий горящую частицу в направлении, перпендикулярном плоскости фотографирования основного фотоустройства. Перед началом опыта каркас с камерой и фотоустройством устанавливается на направляющей стойке в верхнем крайнем положении и фиксируется при помощи специального замка 4.

Для воспламенения частицы металла используется оптическая система импульсного квантового генератора ГОР-100, питание которого происходит от схемы блока питания квантового генератора ГОР-300. Такая комбинация позволяет использовать полезные свойства обоих лазеров: достаточную длительность поджигающего импульса генератора ГОР-300 и длиннофокусную оптическую систему генератора ГОР-100.

Точная установка частицы в нужную для ее воспламенения точку поджигающего луча лазера осуществляется по световому лучу гелий-неонового лазера ЛГ-78 небольшим

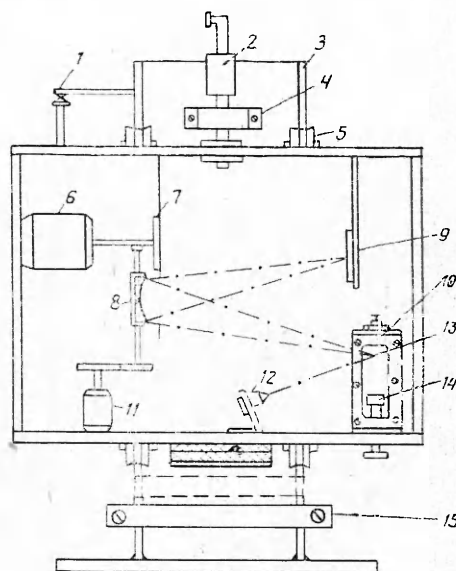


Рис. 1. Общий вид падающей «платформы».

перемещением камеры с частицей внутри каркаса. Камера позволяет производить сжигание частиц металла в различных окисляющих средах как при пониженных давлениях, так и при давлениях до 100 атм.

Укрепленная внутри камеры сжигания колодка разъема позволяет устанавливать в камере блок из семи микротермопар 14, смонтированных в виде горизонтальной решетки на стойках. По мере прохождения горячей частицы мимо термопар измеряется распределение температур в нескольких сечениях зоны горения. След от осадка окиси металла на термопарах дает дополнительные сведения о распределении плотности массы окиси внутри зоны горения. Ниже термопарной решетки помещена чашечка для отбора остатка от сгоревшей частицы.

Снаружи камеры, возле окна, смонтирован фотодиод 12, регистрирующий начало и конец горения, а также и изменение интегральной светимости зоны реакции в процессе горения. После поджигания частицы через требуемое регулируемое время задержки при помощи электромагнита производится автоматическое размыкание замка 4 и начинается свободное падение каркаса по направляющей стойке.

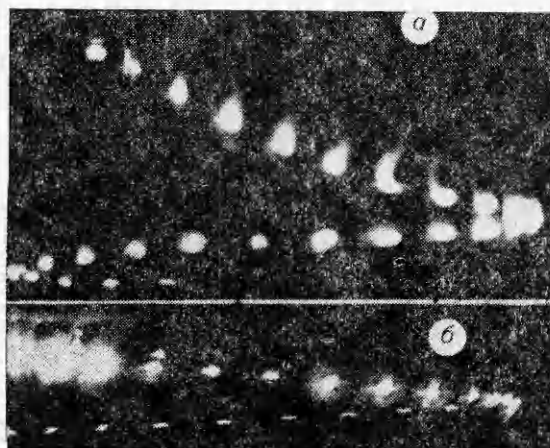
На каркасе имеется контактный датчик 1 начала движения каркаса. Разность времени между сигналами от датчика и началом тока фотодиода (момент поджигания) дает время задержки падения камеры, по которому определяется начальная скорость движения частицы в окисляющей среде камеры. Введение задержки необходимо для того, чтобы под действием силы тяжести горячая частица на небольшой скорости сместилась из своего первоначального положения, в котором она находилась в момент воспламенения, и облако дыма, иногда возникающее в момент воспламенения, не искажало в дальнейшем зону горения.

Мягкое торможение падающего каркаса в конце заданного пути падения обеспечивается трением тормозной колодки 15 о направляющую стойку. Все сигналы от датчиков (фотодиод, датчик начала движения, термопары) в процессе опыта регистрируются на шлейфовом осциллографе Н-117. Управление экспериментом проводится от специально разработанной схемы блока автоматики.

Технические характеристики установки: 1) длина пути свободного падения (без торможения) 2 м, что обеспечивает время горения частицы в свободнопадающей камере 0,63 с; 2) максимальное торможение 4 g; 3) объем камеры сжигания 150 см³; 4) масштаб съемки 1 : 1; 5) средняя скорость развертки изображения объективом 50 см/с; 6) частота съемки 50 кадр/с; 7) время экспозиции кадра 5 мс.

При отладке узлов установки многократно сжигались частицы алюминия диаметром 0,35 мм в кислородно-азотной окисляющей среде (20% O₂ + 80% N₂) при давлениях 1, 20, 40 атм (рис. 2).

Сканирование изображения проводилось вдоль большей стороны фотопластинки в направлении, поперечном движению частицы в камере.



Изображение вдоль меньшего размера фотопластинки смещается за счет начальной скорости частицы, сообщаемой ей силой тяжести за время задержки падения камеры. Нетрудно заметить уменьшение скорости движения частицы во время горения в свободнопадающей камере.

Рис. 2. Фотограммы горения частицы алюминия с $d = 0,35$ мм в среде 20% O₂ + 80% N₂ при давлении 1 (а) и 40 атм (б).

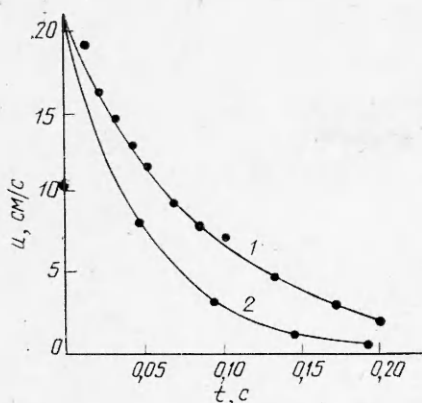


Рис. 3. Кривые изменения скорости движения частицы.
1 — $\theta=0,18$; 2 — $\theta=0,1$.

Из рис. 2, а видно, что формирование зоны горения фактически заканчивается за 0,04 с. Полное время горения в этом опыте 0,56 с. По мере окончания горения частицы сквозь яркую зону свечения разогретых продуктов реакции начинает просвечивать раскаленное ядро окиси диаметром $d = 0,3$ мм, оставшееся от сгоревшей частицы. На рис. 2, б четко видно, что зону горения окружает яркий ореол в виде «галло». Время горения заметно уменьшается.

На рис. 3 приведены обобщенная кривая 1 изменения скорости движения горячей частицы и расчетная кривая 2 изменения скорости движения холодной частицы. Из графика видно, что фактическое уменьшение скорости движения горячей частицы за счет вязкого сопротивления газа при малых скоростях движения происходит медленнее, чем происходило бы по закону Стокса, т. е. значение коэффициента Θ в экспоненциальном законе затухания скорости $u = u_0 \exp(-t/\Theta)$, полученное из расчета для холодной частицы, равно 0,1, а для горячей частицы $\Theta = 0,18$.

На рис. 4 дан примерный вид распределения температуры внутри зоны горения, полученный по термопарным записям для двух видов зоны горения: кривая 1 — зона малого размера из-за большой скорости обдува горячей частицы (диаметр зоны $\sim 2-3$ мм), кривая 2 — зона большого размера, получающаяся в опытах, когда обдув горячей частицы практически отсутствовал (диаметр зоны ~ 10 мм). Как видно из рисунка, распределения температур существенно отличаются.

Приведенный экспериментальный иллюстрационный материал является качественным, требующим дальнейшей обработки и обоснования. Проведенные испытания показали, что установка позволяет проводить исследования горения в камере отдельных частиц металла в различных окислительных средах при давлениях до 100 атм. При этом в опыте одновременно определяются время формирования зоны горения, полное время горения, распределение температуры в нескольких сечениях зоны горения, изменение интегральной светимости зоны горения, размер и эволюция во времени зоны горения, торможение горячей частицы газом среды — окислителя.

Установка позволяет анализировать влияние скорости обдува горячей частицы на параметры и прерывать горение частицы в любой момент времени с отбором недогоревшего остатка для дальнейшего исследования.

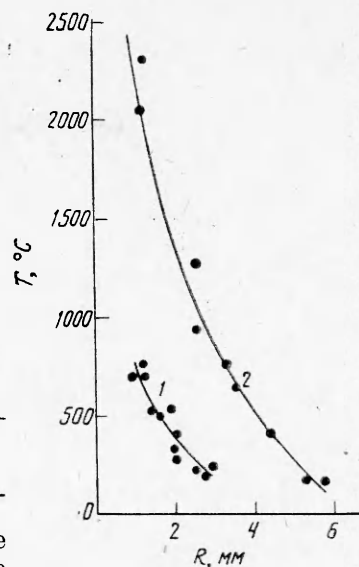


Рис. 4. Распределение температуры в зоне горения ($p = 1$ атм); 20% $O_2 + 80\%$ N_2 ,
 $d_{Al} = 0,35$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Колесников-Свинарев, Г. П. Кузнецов, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1978, 14, 5, 147.
2. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов, В. И. Колесников-Свинарев и др. Физика аэродисперсных систем, 1978, 17, 78.

УДК 532.51+536.46

ГОРЕНИЕ НЕФТИ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (крупномасштабный эксперимент)

*Ю. А. Гостинцев, Н. П. Копылов, Л. А. Суханов, А. Ф. Солодовник,
В. В. Лазарев, Ю. В. Шацких, М. А. Могин*
(Москва, Балашиха)

Большие пожары приводят к заметным возмущениям окружающей атмосферы. Интенсивность таких возмущений определяется динамикой тепло- и массовыделения в очаге, метеорологической обстановкой в районе пожара (стратификацией атмосферы, полем ветра) и характером турбулентного обмена нагретых продуктов с холодным воздухом [1]. В условиях незапланированно возникающих пожаров одновременное измерение комплекса параметров названных процессов осуществить практически невозможно. Для проверки выводов теории в связи с этим решающее значение имеет организация экспериментальных пожаров с контролируруемыми условиями выгорания и состояния атмосферы.

В 1981 г. ИХФ АН СССР и ВНИИПО МВД СССР проведены крупномасштабные пожары по моделированию процессов горения нефти на водной поверхности. Открытый отстойник (ванна) нефтепродуктов с размером зеркала 125×30 и толщиной слоя горючего $\sim 0,15$ м поджигался с узкой наветренной стороны. Фронт горения распространялся вдоль ванны с постоянной скоростью $u_p \sim 15$ м · мин⁻¹. После окончания распространения устанавливался стационарный процесс нормального выгорания. Через 15 мин подожжена вторая ванна такого же размера, находящаяся параллельно первой на расстоянии 13 м. После 30 мин горения произошло слияние конвективных колонок от обоих очагов, и совместное их горение продолжалось примерно 1,5 ч. Затем вблизи центра первого бассейна наблюдалась резкая интенсификация горения с самопроизвольным погасанием, постепенно охватившим всю поверхность. Через некоторое время такое же явление имело место на втором очаге. После полного гашения попытки повторно воспламенить зеркало не удались.

В процессе опыта и после него в лабораторных условиях проводили измерения ряда параметров.

Параметры исходного нефтепродукта и очага. Исходный продукт — обогащенная легкими фракциями нефть со средним удельным весом при +20°С $\rho_s = 0,908$ г · см⁻³, теплопроводностью $\lambda_s = 0,35 \cdot 10^{-3}$ кал × (с · град · см)⁻¹, удельной теплоемкостью $c_s = 0,427$ кал · (г · град)⁻¹ и теплотой сгорания $H = 11\,000$ ккал · кг⁻¹. Выгорание нефтяного слоя на водной поверхности идет с нормальной скоростью $u_n = 0,67$ мм · мин⁻¹ и температурой пламени ≈ 1650 К.

В стационарном режиме выгорания нефти для одной ванны со всей поверхности за единицу времени сгорает 38 кг · с⁻¹, а мощность тепловыделения составляет $4,2 \cdot 10^5$ ккал · с⁻¹. Для двух ванн это число удваивается. Общее тепловыделение за время эксперимента составило $5 \cdot 10^9$ ккал $\approx 2 \cdot 10^{13}$ Дж.

Для сохраняющихся интегралов потоков силы плавучести и объема продуктов, определяющих автомоделное стационарное движение в конвективной колонке [2, 3], имеем