

УДК 536.46+535.44

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. Е. ЗАРКО, К. П. КУЦЕНОГИЙ, В. М. ГИНЗБУРГ,  
Б. М. СТЕПАНОВ, В. Я. ЦАРФИН

## ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАФИИ

*(Представлено академиком А. В. Николаевым 26 XII 1973)*

Диспергирование, т.е. измельчение и вынос в газовую фазу частиц с поверхности горящего конденсированного вещества, впервые обнаружил А. Ф. Беляев <sup>(1)</sup> в опытах с гремучей ртутью. Впоследствии это явление более детально исследовал П. Ф. Похил <sup>(2)</sup>. Изучая процесс горения нитросоединений, он пришел к заключению, что диспергирование, обусловленное объемным газовыделением в реагирующем поверхностном слое, оказывает определяющее влияние на скорость горения в широком диапазоне давлений. Предположение о наличии дисперсной фазы при горении смеси составов на основе перхлората аммония высказывалось авторами работы <sup>(3)</sup>. Тем не менее, вплоть до настоящего времени в литературе отсутствовали надежные экспериментальные данные о диспергированных частицах и закономерностях их образования, поскольку изучение этого явления при нормальном и повышенных давлениях наталкивается на значительные трудности методического характера, так как химические превращения в дымогазовой зоне над поверхностью протекают при высоких температурах с большими скоростями и сопровождаются интенсивным излучением.

Новые перспективы в исследовании диспергирования открывает применение импульсной голографии <sup>(4-6)</sup>. Основные преимущества данной методики составляют: высокое разрешение при уникальной глубине резко изображаемого пространства, объемность восстанавливаемого изображения, возможности апостериорной обработки получаемой информации другими оптическими методами (например, теневым или интерференционным) и регистрации объектов на фоне их собственного свечения. Голографические методы были применены для визуализации горячей поверхности с целью изучения механизма ее разрушения и для регистрации диспергированных частиц в факеле. Исследовалось горение нитроглицеринового пороха Н на воздухе.

Эксперименты проводились на установке УИГ-1М <sup>(7)</sup>. На рис. 1 показана оптическая схема опытов по голографированию горячей поверхности. Для уменьшения фоновой засветки от пламени перед голограммой устанавливался светофильтр КС-18. Регистрация проводилась на пленке ФПГВ-2 и на фотопластинках АГФА Геверт 10 Е 75. Рубиновый ОКГ работал в одномодовом режиме с длительностью импульса 40 нсек. и энергией 20 мдж.

Мгновенная картина реагирования на поверхности, зарегистрированная в этих опытах, имеет ярко выраженный неоднородный характер. Центры реагирования, являющиеся, по всей вероятности, пузырьками с газом (при рассматривании их под различными углами заметны перемещающиеся блики), сосредоточены в локальных областях площадью 1-3 мм<sup>2</sup>. Относительно большие аберрации голограмм не позволили по-



Рис. 2. Фотография диспергированных частиц над горячей поверхностью

лучить резкие изображения пузырьков и точно определить их размеры. Максимальный диаметр пузырей по оценкам несколько превышал 100 мкм. Основную часть распределения составляли образования диаметром менее 50 мкм. Поверхностная концентрация светящихся точек в пределах области реагирования равна  $\sim 10^4 \text{ см}^{-2}$ .

Голографическая регистрация дымогазовой зоны над поверхностью горящего пороха проводилась по двухлучевой схеме без использования рассеивателя в сигнальном пучке. При восстановлении изображения в качестве источника излучения применялась ртутная лампа в сочетании с интерференционным светофильтром. Специально разработанная схема со спектрально-пространственной фильтрацией восстановленной волны обеспечивала разрешение не хуже 30 мкм и позволяла наблюдать изображение частиц без дифракционных колец, возникающих при освещении голограммы газовым лазером. Фотография восстановленного изображения участка горячей поверхности (нижняя часть снимка) и диспергированных частиц приведена на рис. 2.

Для определения масштаба съемки служит проволочка диаметром 100 мкм в центре кадра. Слева от нее находится большой кусок углеродистого каркаса, образующегося при неполном сгорании нитроклетчатки. Диспергированные частицы имеют, по-видимому, сферическую форму. При пересъемке в процессе восстановления подбиралась такая величина относительного отверстия фотографической системы, чтобы все изображение факела горящего пороха полностью находилось в пределах глубины резкости. Относительное распределение частиц по размерам в слое газа высотой 4 мм, прилегающем к горячей поверхности, показано на рис. 3.

Абсолютная счетная концентрация частиц вблизи поверхности составляет  $\sim 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  и монотонно уменьшается с увеличением расстояния.

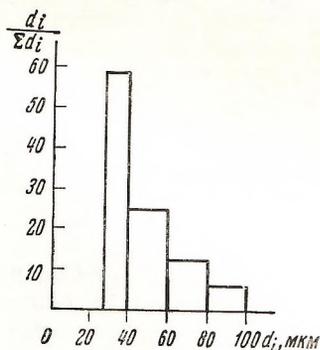


Рис. 3. Относительное распределение частиц по размерам в слое газа толщиной 4 мм вблизи поверхности пороха.  $d_i$  — максимальный диаметр частицы

На высоте 4 мм она падает в 1,5 раза. Экспериментальные данные с достоверностью свидетельствуют о наличии дисперсной фазы при горении нитроглицеринового пороха и позволяют сделать грубую оценку степени диспергирования. Если принять, что среднemasсовый размер частиц 40 мкм, средняя скорость их движений 0,5 м/сек и счетная концентрация  $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ , то расчетная степень диспергирования  $\eta$  при скорости горения 0,08 см/сек, составит  $\sim 10\%$ . Такое же по порядку величин значение  $\eta$  получено в независимых опытах с прососом продуктов горения через металлический фильтр и с осаждением частиц на стеклянные коллекторы. Для нахождения точного значения степени диспергирования и выяснения механизма разрушения поверхностного слоя необходимо проведение дальнейших исследований.

Весьма перспективным представляется применение многоимпульсной голографической регистрации<sup>(8)</sup>. Эта методика позволит получить более детальные сведения о микроструктуре и временной картине реагирования на горячей поверхности, а также определить поле скоростей частиц, образующихся в процессе диспергирования.

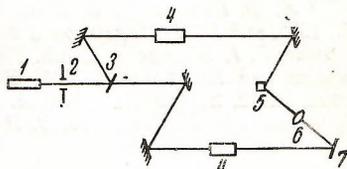


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента по голографированию поверхности горящего пороха: 1 — рубиновый лазер, 2 — диафрагма, 3 — полупрозрачное зеркало, 4 — коллиматор, 5 — образец, 6 — объектив, 7 — голограмма

Авторы выражают глубокую благодарность А. А. Ковальскому за постановку задачи и обсуждение.

Институт химической кинетики и горения  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
17 XI 1973

Всесоюзный научно-исследовательский  
институт оптико-физических измерений  
Москва

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Ф. Беляев, ДАН, т. 33, 41 (1941). <sup>2</sup> П. Ф. Позил, Докторская диссертация, М., 1954. <sup>3</sup> Э. И. Максимов и др., Изв. АН СССР, сер. хим., № 3, 422 (1966). <sup>4</sup> M. J. Schwar, F. J. Weinberg, Comb. Flame, v. 13, № 4, 335 (1969). <sup>5</sup> F. D. Trolinger, Astronautics and Aeronautics, № 8, 56 (1972). <sup>6</sup> В. М. Гинзбург, Б. М. Степанов, Измер. техн., № 12, 21 (1972). <sup>7</sup> Е. А. Антонов и др., Метрология, № 9, 33 (1971). <sup>8</sup> Е. А. Кузнецова, Б. М. Степанов, В. Я. Царфин, Приборы и техн. эксп. № 6, 177 (1972).