

для воды

$$R=4,73 \cdot \bar{t}^{0,422}, \quad 1,8 \cdot 10^{-3} \leq \bar{t} \leq 2,5 \cdot 10^{-2}.$$

Среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек от аналитической кривой в рассматриваемом диапазоне изменения времени не превышает 6%.

Как видно из рис. 2 и из оценки разброса экспериментальных точек для взрывов различной энергии геометрическое подобие имеет место. На этом же рисунке приведены результаты по взрыву у стальной стенки. При переходе к приведенным координатам брался вес тротила, эквивалентный по энергии 130 Дж.

Поступила в редакцию
23/III 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Зельманов, О. С. Колков и др. ФГВ, 1968, 4, 1.
2. В. Б. Лебедев, А. А. Провалов и др.—В сб.: Взрывное дело, № 64, (2) М., «Недра», 1968.
3. И. Л. Зельманов, О. С. Колков и др. ФГВ, 1968, 4, 3.

О ГОРЕНИИ ТВЕРДЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ СО₂-ЛАЗЕРА

А. В. Кузиковский, В. А. Погодаев

В связи с рядом задач распространения излучения СО₂-лазеров в атмосфере интересно изучение поведения твердого аэрозоля при радиационном нагреве частиц [1]. Установлено, что запыленность воздуха приводит к существенному снижению порога пробоя интенсивным импульсным излучением [2]. При этом условия распространения таких импульсов существенно ухудшаются.

Представляет интерес исследование воздействия непрерывного излучения умеренной плотности на твердые компоненты запыленных сред. В данной работе наблюдалось горение и разрушение частиц каменного угля, сажи, глины, SiO₂, NaCl, шлака и цементной пыли под действием излучения СО₂-лазера при потоках мощности $(130 \div 210) \cdot 10^4$ Вт/м². Размер частиц составлял 20 ÷ 150 мкм. В результате разрушения как исходных, так и диспергированных частиц горящих материалов в эксперименте реализовывался диффузионный режим горения.

Тепловой баланс, однако, различен для исходных и диспергированных частиц. Потери тепла из зоны реакции при горении мелких частиц (~1 мкм) обусловлены в основном теплопроводностью. В этом случае оценка стационарной температуры, обусловленной только реакцией горения, дает для частицы угля размером 1 мкм величину ~3·10³ К. Такие частицы, следовательно, способны к горению и при отсутствии облучения.

Для исходных частиц размером порядка наблюдавшихся в эксперименте при температурах выше типичной температуры воспламенения (~700°С для углерода) потери энергии на излучение существенно выше кондуктивных потерь. Соответствующая оценка стационарной темпера-

туры горения частицы углерода размером 100 мкм дает величину, близкую к температуре воспламенения углерода. Поэтому некоторые разновидности частиц (частицы сажи) горят лишь при наличии излучения лазера, тогда как другие (частицы каменного угля) горят после прекращения действия излучения.

Горение частиц регистрировалось с помощью скоростной киносъемки. Частицы помещались на плоские подложки из алюминия или серебра, имеющие высокий коэффициент отражения для длины волны излучения $\lambda = 10,6$ мкм.

При облучении твердых частиц лазерным излучением последние разогреваются до температуры свечения и затем происходит расплавление вещества, о чем можно судить по стягиванию частицы в сферу. Частицы глины, SiO_2 , NaCl , цементной пыли разогреваются за $(4 \div 10) \times 10^{-3}$ с. Спустя $(1 \div 2) \cdot 10^{-3}$ с частицы SiO_2 и NaCl расплавлялись. Для плавления разогретых частиц глины требуется $(15 \div 20) \cdot 10^{-3}$ с.

Гораздо длительнее процесс разогрева частиц каменного угля и шлака в зависимости от размера — $(10 \div 30) \cdot 10^{-3}$ с. Время плавления составляет $0,2 \div 1,5$ с. Воспламеняются из перечисленного списка веществ лишь сажа и каменный уголь.

Из кинограмм процесса воздействия излучения CO_2 -лазера на частицы сажи размером ~ 150 мкм (рис. 1) определено время прогревания объема частицы до температуры свечения вещества, которое составляет $7 \cdot 10^{-3}$ с. Поток мощности излучения составляет $210 \cdot 10^4$ Вт/м². Затем наблюдается обгорание верхнего слоя ($\leq 10^{-3}$ с) и разлет вещества. Размер мелкодисперсной фракции разлетающегося вещества ~ 1 мкм, о чем можно судить по отчетливым трекам. Треки заметно искривляются в связи с небольшой скоростью движения (~ 1 м/с). Через $3,5 \cdot 10^{-3}$ с с момента воспламенения частица сажи гаснет, наблюдается спад интенсивности свечения вплоть до $t = 14,7 \cdot 10^{-3}$ с. Далее за время менее 10^{-3} с частица прогревается до температуры разлета с гораздо большими скоростями (треки совершенно прямолинейны). Пройдя путь ~ 200 мкм в среде, частички сгорают. Такие частицы могут гореть и после выключения CO_2 -лазера, тогда как крупные в этом случае гаснут. Частица полностью сгорает за $44 \cdot 10^{-3}$ с.

Временная зависимость размера частицы линейна практически на протяжении всего времени горения. Резкое ускорение процесса наступает после $40 \cdot 10^{-3}$ с.

Процесс воздействия излучения CO_2 -лазера на частицы твердого аэрозоля имеет пульсирующий характер, что можно объяснить экранировкой частицы парами вещества. Влияние экранировки на процесс испарения вещества и развитие в нем каверны наблюдалось и при взаимодействии излучения CO_2 -лазера с рядом оптических материалов [3]. Эффект частичного поглощения излучения ранее наблюдался в продуктах разрушения полиметилметакрилата [4]. Существенность экранировки следует из оценки оптического сечения продуктов разлета. Оно меняется от $6 \cdot 10^{-8}$ м² для частицы с радиусом 100 мкм до $6 \cdot 10^{-6}$ м² для продуктов ее разлета, состоящих из частиц с радиусом 1 мкм. Сечение пучка в области воздействия не превышало $3 \cdot 10^{-6}$ м².

Рис. 2, а иллюстрирует процесс сгорания частицы каменного угля с начальным размером 160 мкм. Поток мощности воздействующего излучения $210 \cdot 10^4$ Вт/м². Частицы угля через $(50 \div 90) \cdot 10^{-3}$ с воспламеняются и непрерывно горят в зависимости от начального размера и потока мощности воздействующего излучения $0,2 \div 0,7$ с. Во время горения пульсаций интенсивности свечения не наблюдается. До воспламенения и после прекращения горения, когда образуется шарик шлака, процесс воздействия имеет пульсирующий характер. Медленное движение шарика расплавленного вещества можно объяснить реактивными силами, возникающими при его одностороннем облучении.

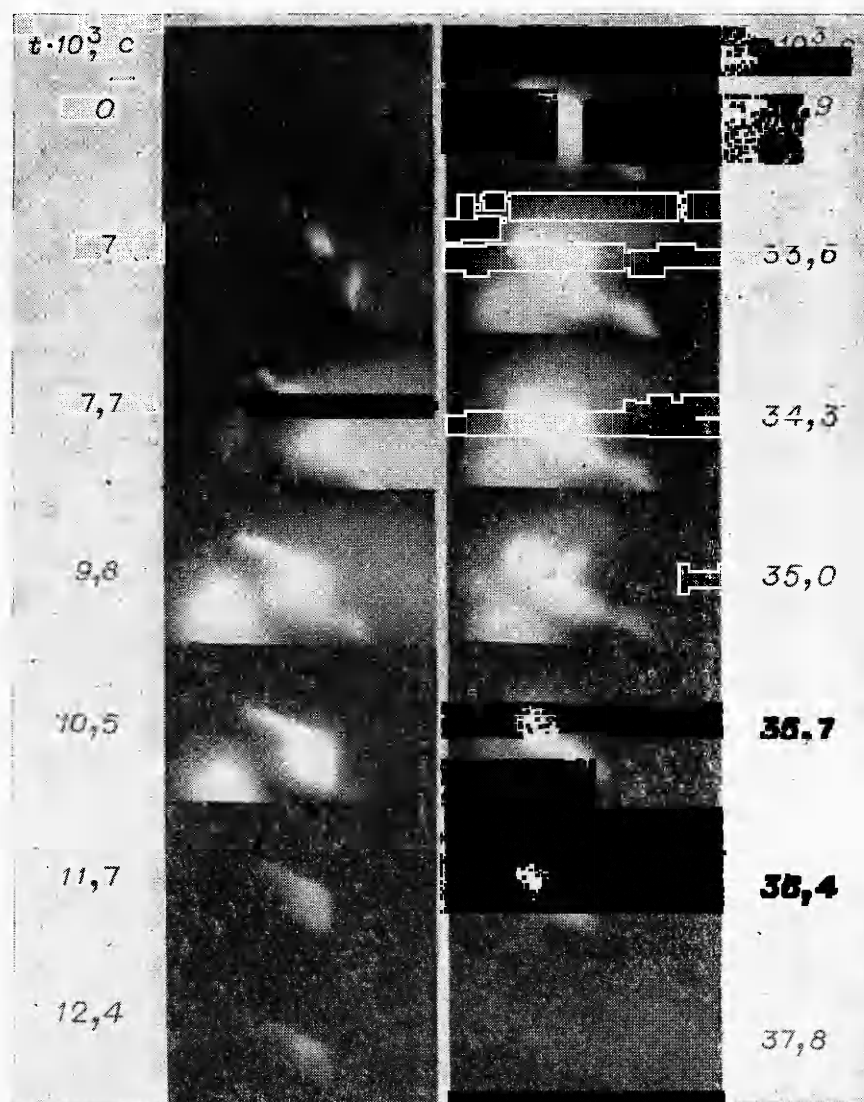


Рис. 1. Кинограмма процесса разрушения частицы сажи с начальным размером 150 мкм. Поток мощностью $210 \cdot 10^4$ Вт/м².

Для точного определения времени воспламенения и наблюдения пульсаций проводились «темновые» съемки, когда фиксировалось лишь свечение объекта. Типичная кинограмма такого процесса приведена на рис. 2, б (воздействие на частицу угля). Наблюдается спад интенсивности свечения и затем повторный разогрев частицы до температуры разрушения.

Заметное испарение расплавленного вещества наблюдается при воздействии на частицы глины. Измерение размеров велось с момента стягивания вещества в сферу. Испаряются, по-видимому, летучие компоненты, так как по истечении 8 с уменьшение размера частицы прекращалось. Расплавленные частицы шлака свой размер не изменяли при временах воздействия, реализуемых в эксперименте. Частицы NaCl и SiO₂ спустя 10^{-2} с становились практически прозрачными, начинались интенсивные выбросы вещества, и частицы выходили из поля зрения объектива и луча лазера со скоростями более 1 м/с.

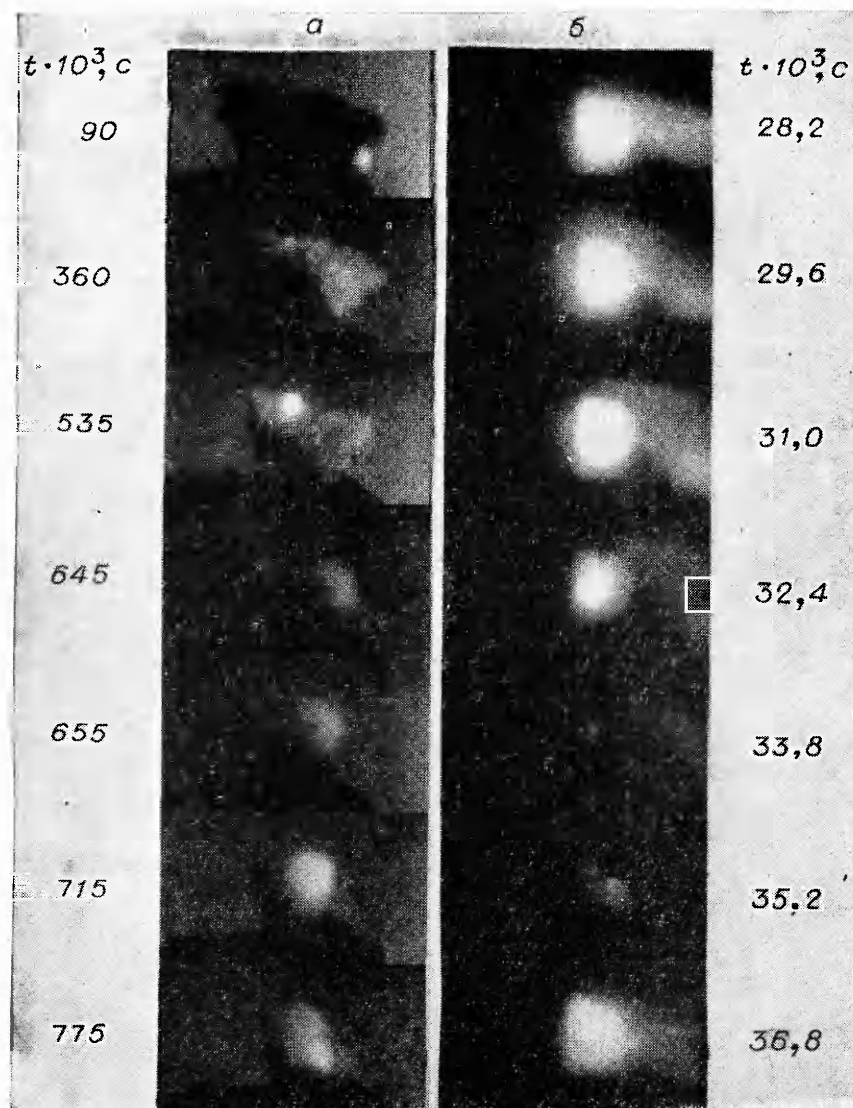


Рис. 2. Кинограмма процесса горения частицы каменного угля с начальным размером 120 мкм при воздействии излучения ОКГ. Поток мощностью 210×10^4 Вт/м².

а) кинограмма изменения формы частицы; б) кинограмма изменения интенсивности свечения частицы.

Необходимо отметить, что при полном расплаве частицы внутри объема наблюдалось большое количество пузырьков и сильное конвективное движение. При объединении нескольких пузырьков и достижении ими границы раздела вещество — воздух происходил локальный взрыв с разлетом вещества, чем обуславливалось реактивное движение.

Наличие пузырьков внутри объема расплавленных частиц NaCl и SiO₂ наблюдалось визуально. Предположение о том, что причиной движения частиц является импульс отдачи вещества, с большой скоростью вышедшего из объема, основано на сравнении с аналогичным режимом, наблюдавшимся в [5] для капель жидких материалов.

Институт оптики
атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
2/IV 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Волков, Ю. К. Крылов. I Всесоюзная школа-конференция по применению лазеров в машиностроении и других областях техники и физические вопросы разработки газовых лазеров. Тез. докл. М., 1974.
 2. E. Lencioni, J. E. Lowder. IEEE J. Quant. Electron., 1974. QE-10, 2.
 3. Г. В. Бубякин, А. Е. Кузнецов и др. Совещание по физике воздействия оптического излучения на конденсированные среды. Тез. докл. Л., 1969.
 4. Д. П. Криндач, Н. П. Новиков, Ю. И. Юдин. Механика полимеров, 1968, 2.
 5. Н. В. Букздорф, В. А. Погодаев, Л. К. Чистякова. Квантовая электроника, 1975, 2, 5.
-