

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

**НЕКОТОРЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ  
НАД ГОРЕНИЕМ КАПЛИ АЛЮМИНИЯ  
В СОСТОЯНИИ НЕВЕСОМОСТИ**

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

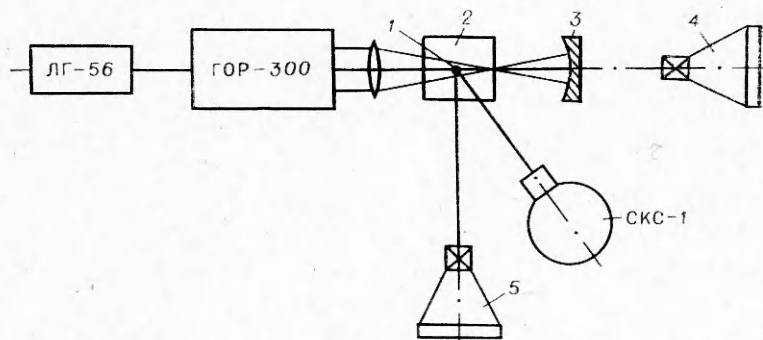
Имеются два подхода к созданию теории горения алюминия в газе-окислителе. Первый [1—3] исходит из аналогии с механизмом и теорией горения капли углеводородного топлива. По этой теории из капли испаряется алюминий, его пары окисляются в тонкой зоне реакции, окружающей каплю, и образующиеся пары окиси алюминия конденсируются в тонкой зоне реакции. Диаметр зоны реакции  $D$  (равный диаметру перемены знака стефановского потока) составляет  $1,5 d$  ( $d$  — диаметр капли).

Второй подход [4, 5] базируется на термодинамических реалиях: из капли выходят не только пары алюминия, но и его газообразная субокись, продукт реакции образуется путем химической конденсации в газовой фазе зародышей конденсированной окиси алюминия. Химическая конденсация происходит в широкой зоне реакции. Диаметр зоны перемены знака стефановского потока значительно больше следующего из работ [1—3]; при горении в воздухе капля диаметром 0,1—0,5 мм он равен 2 мм и не зависит от диаметра капли.

Любые предсказания теорий [1—5] относятся к рассмотрению перемещения масс только диффузией, поэтому экспериментальные исследования зоны реакции, соответствующие упомянутой выше предпосылке, следует проводить в условиях невесомости.

На рисунке изображен схематический вид сверху экспериментальной установки. Алюминиевый шарик 1 (диаметр 0,4 или 0,2 мм) подвешивается в камере 2 с плоскими стеклянными стенками (3 — отражающее зеркало). Луч от импульсного лазера ГОР-300 воспламеняет каплю алюминия и одновременно пережигает проволоку, удерживающую камеру от падения. Таким образом, горение капли алюминия происходило в свободнопадающей камере, т. е. в состоянии невесомости.

На фотоаппаратах 5 и 4, расположенных на 14,5 см (капля 0,4 мм) 8,5 см (капля 0,2 мм) ниже начального положения капли, получалось изображение капли в виде сплошной полосы вследствие свободного падения камеры. Ширина полосы равна диаметру зоны интенсивной реакции. Иногда при воспламенении капля получала импульс от оттока несимметрично прогретого воздуха, контактирующего с каплей, и по-



лучала скорость до  $\sim 6$  см/с преимущественно в направлении луча лазера.

Для определения величины и направления скорости этого бокового смещения капли, на фотопластинках перед опытом фотографировалась отвесная нить. Нахождение изображения нити посередине полосы изображения капли означало отсутствие скорости бокового движения. Несоответствие изображения нити с серединой полосы давало возможность определить направление и скорость движения горячей капли внутри падающей камеры, отклонение ее от плоскости фокусирования в соответствующей камере и внести поправки в размер ширины полосы в случае, если отклонения существенны. Специальным приемом (наложение на часть фотопластинки маски с отверстиями диаметром 0,1 мм, расположенными вдоль ширины полосы изображения и отстоящими одно от другого на 0,5 мм) показано, что ширина полосы не искажена ореолом.

Проведены измерения ширины зоны реакции нефотографическим путем: через область реакции проводились тонкие проволоки ( $d=0,1$  мм), натянутые на рамку параллельно с расстоянием между ними 1 мм. Скорость движения рамки с проволоками составляла 10—12 см/с. Тонкий белый налет окиси алюминия означал величину сечения в месте прохождения ее проволокой. В табл. 1 приведены значения ширины зоны реакции, полученные фотографическим методом для капель диаметром 0,4 и 0,2 мм. Термин «ядро» означает, что след неоднородный и внутри есть более яркое ядро. В табл. 2 приведены результаты измерений ширины зоны по налету окиси, они близки к таковым, полученным фотографически.

Для восприятия ширины полосы как ширины зоны реакции надо оценить две возможные причины ошибки:

1) ширина полосы есть диаметр области раскаленного воздуха, нагретого узкой зоной реакции ( $1,5 d$ ) по теории [1—3]. Расчет по-

Таблица 1

$d_{Al}$ , мм	Ширина (фотографическая) зоны реакции с использованием «маски», мм	Скорость бокового смещения, см/с	$d_{Al}$ , мм	Ширина (фотографическая) зоны реакции с использованием «маски», мм	Скорость бокового смещения, см/с
0,4	4,8	6,1	0,4	5,0	1,5
	4,5	4,7		3,3	4,3
	5,6	3,8		6,8 (ядро—0,8)	0
	6,2	2,4	0,2	5,2 (ядро—0,8)	Не оценена
	4,0	3,5		5,2	2,5
				5,6	Не оценена

Таблица 2

$d_{Al}$ , мм	Количество проволочек, покрытых $Al_2O_3$	Наибольшая длина участка проволоки, покрытого $Al_2O_3$ , мм
0,2	6	7,0
0,2	6	3,5
0,4	5	5,5
0,4	8	7,0

темнения фотопластинки по справочным данным о светимости воздуха и чувствительности фотопластинки дает величину потемнения ниже фона фотопластинки;

2) ширина полосы есть диаметр области, содержащей некий аэрозоль (посторонний горению капли), образовавшийся за время воспламенения от испарившихся загрязнений или алюминия и освещаемый изнутри узкой зоной реакции горячей капли.

Эта возможность опровергается данными табл. 1 (первая строка). В этом опыте имел место обдув капли со скоростью 6 см/с, боковой для камеры 5 и лобовой для камеры 4. К моменту фотографирования (0,17 с после воспламенения) воздушный поток отнес бы посторонний аэрозоль на 1 см. Полоса изображения должна в этих условиях показать диаметр области аэрозоля, связанного с горением, т. е. диаметр зоны реакции. Вследствие этих причин рассмотрим ширину полосы изображения как диаметр зоны реакции конденсации окиси алюминия.

Из данных табл. 1, 2, полученных разными методами, следует, что зоны реакции широки ( $\sim 10 d$  для капель с  $d=0,4$  мм и  $\sim 25 d$  для капель с  $d=0,2$  мм) и они практически не зависят от размеров капель в указанном их диапазоне. Эти результаты противоречат теории [1—3] и согласуются с теорией [4, 5]. Ширина зоны реакции практически не зависит от обдувающего потока со скоростью  $v=6$  м/с, но сильно уменьшается при увеличении скорости обдува и при  $v\sim 30$  см/с (свободное падение воспламененной капли с высоты 0,5 см) становится равной 2 мм (метод рамки с проволоками).

Из полученных данных нельзя получить диаметр зоны положительного стефановского потока (т. е. движущегося от капли наружу) потому, что зона реакции может захватить также и область отрицательного стефановского потока вследствие диффузии газообразной субокиси алюминия навстречу отрицательному (т. е. идущему снаружи к капле) стефановскому потоку. Вопрос об истинном диаметре области положительного стефановского потока (существенного для теории [4, 5]) требует дальнейшего рассмотрения.

Авторы благодарят А. Г. Истратова и В. М. Гремячкина за ценную дискуссию.

Поступила в редакцию  
22/VII 1977

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Клячко. ФГВ, 1969, 5, 3.
2. Т. Бружстовский, И. Глассмен.— В сб.: Гетерогенное горение. М., «Мир», 1967.
3. Chung-Kan Low. Combustion Science and Technology, 1976, 12, 113.
4. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов. О. И. Лейпунский. ПМТФ, 1974, 4.
5. В. М. Гремячкин, А. Г. Истратов, О. И. Лейпунский. ФГВ, 1975, 11, 3.