

СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 541.16:182

ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ В ВОЗДУХЕ

А. П. Ильин, Н. В. Бычин, А. А. Громов

НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета, 634050 Томск

Представлены результаты исследований процесса и продуктов горения гидрида алюминия в воздухе. Показано, что конечные продукты горения гидрида алюминия содержат нитрид алюминия в количестве $\approx 50\%$ (по массе) для больших навесок (массой 1000 г). Механизм формирования конечных продуктов горения гидрида алюминия, вероятно, аналогичен таковому для ультрадисперсного порошка алюминия.

Ранее было показано, что при сгорании ультрадисперсного порошка алюминия (УДПА) в воздухе конечные продукты горения могут содержать более 50 % AlN (по массе) [1, 2]. При разбавлении промышленных порошков алюминия ($10 \div 100$ мкм) ультрадисперсным порошком оксида алюминия смесь после инициирования сгорает в воздухе, как и УДПА, в две стадии со стабилизацией оксинитрида и нитрида алюминия [3]. Интерес представляло изучение конечных продуктов сгорания не только порошков алюминия, но и его соединений, в частности гидрида алюминия. При медленном термораспаде гидрида алюминия в вакууме твердым конечным продуктом является элементный алюминий в виде малых частиц неправильной формы [4].

В работе использован порошкообразный гидрид алюминия, полученный по известной методике [5]. Чистота синтезированного гидрида алюминия по результатам термического анализа составляла 94 % (по массе). Навески располагались на керамических подложках, и им придавалась коническая форма. Горение инициировали с помощью нихромовой спирали. В изученном диапазоне навесок массой $m = 0,0005 \div 1,00$ кг процесс горения протекал однотипно — в три стадии. После иницирования наблюдается горение водорода в виде факела, отделенного от навески несветящейся зоной. На этой стадии горение можно прервать путем быстрого введения фольги в пространство между навеской и факелом. Продуктом неполного сгорания является порошок алюминия в виде сферических частиц микронного диаметра. Инициировать горение этого порошка нихромовой спиралью не удалось, по-видимому, из-за его высокой теплопроводности, как это имеет место для промышленных по-

рошков марки АСД. По мере выгорания водорода факел опускался и касался навески. После этого загорался алюминий и наблюдалось, как и при горении УДПА [1], низкотемпературное горение. По истечении определенного времени, зависящего от массы навески гидрида алюминия, горение переходило в следующую стадию — температура образцов возрастала до $2000 \div 2400$ °С. После охлаждения твердые конечные продукты горения анализировали на содержание металлического алюминия путем их растворения в 4-нормальном растворе соляной кислоты и измерения объема водорода [6]. Содержание химически связанного азота определяли методом Кьельдаля [7]. С помощью дифрактометра ДРОН-3,0 продукты подвергали рентгенофазовому анализу (РФА). Согласно данным РФА конечные продукты содержат следующие кристаллические фазы: α - и γ -Al₂O₃, AlN, Al⁰. Результаты экспериментов приведены в таблице.

С увеличением массы навески гидрида алюминия наблюдаются рост содержания AlN и уменьшение содержания оксидов алюминия (III), в то время как содержание металлического алюминия сначала увеличивается, а затем уменьшается. Содержание AlN в продуктах сгорания гидрида алюминия достигает $\approx 50\%$ в случае больших навесок ($m = 1$ кг), а продукты сгорания УДПА могут содержать более 50 % AlN уже для навесок массой $2 \div 3$ г. Следует также отметить, что при сгорании больших навесок ($m > 1$ кг) в воздухе содержание металлического алюминия в конечных продуктах уменьшается до следовых количеств. По данным электронной микроскопии продукты сгорания гидрида алюминия ($m = 3$ г) представляют собой слабо агрегированные и, вероятно, полые частицы с огранкой (рисунок а),

Состав конечных продуктов сгорания
различных по массе навесок гидрида алюминия

№ п/п	m, г	Содержание, % (по массе)		
		AlN	Al ⁰	α -Al ₂ O ₃ + γ -Al ₂ O ₃
1	0,5	10,2	6,7	83,1
2	1	11,7	7,7	80,6
3	3	19,9	13,7	66,4
4	4	24,3	16,7	59,0
5	5	26,1	16,1	57,8
6	6	27,5	15,4	57,1
7	7	28,7	14,9	56,4
8	10	32,5	2,8	54,7
9	1000	50,7	0,5	48,8

Примечание. Al⁰ — неокисленный металлический алюминий.



Электронно-микроскопические фотографии продуктов горения гидрида алюминия в воздухе:

a — $\times 1000$, б — $\times 3000$

из объема которых выросли игольчатые анизотропные кристаллы (рисунок б). Длина игольчатых кристаллов составляет несколько десятков микрометров, а диаметр — менее 1 мкм. По морфологическим характеристикам конечные продукты сгорания гидрида алюминия похожи на конечные продукты сгорания УДПА [3].

Таким образом, стабилизация нитрида алюминия в качестве самостоятельной фазы в конечных продуктах сгорания наблюдается не только для порошкообразного алюминия, но и для гидрида алюминия. При этом горение осуществляется в воздухе, и содержание нитрида алюминия в конечных продуктах может превышать 50 %. Различие процессов горения гидрида алюминия и УДПА заключается в дополнительной стадии выгорания водорода при относительно низкой температуре самого гидрида алюминия, а образующийся порошок алюминия сгорает в две стадии: низкотемпературная и высокотемпературная, сопровождающаяся химическим связыванием азота воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

- Ильин А. П., Проскуровская Л. Т. Особенности окисления металлов в ультрадисперсном состоянии. II. Высокотемпературное окисление алюминия: размерные и структурные факторы. Черкассы, 1988. Деп. в ОНИИ ТЭХИМ ХП, 1988. № 905.
- Ильин А. П., Проскуровская Л. Т. Двухстадийное горение ультрадисперсного порошка алюминия на воздухе // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 2. С. 71–72.
- Сургин В. А., Кондратюк С. К., Попко Е. М. и др. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез азотсодержащих соединений в волне горения порошков алюминия // Избранные докл. VII Всерос. науч.-техн. конф. «Механика летательных аппаратов и современные материалы». Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. Вып. 3. С. 87–89.
- Болдырев В. В., Мазалов Л. Н., Басуск Н. В., Пошевнев В. И. Рентгеноструктурное исследование процесса термолиза гидрида алюминия // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277, № 3. С. 612–614.
- Ляшко А. П. Особенности взаимодействия с водой и структура субмикронных порошков алюминия. Дис. ... канд. хим. наук. Томск, 1988.
- Цветные металлы и сплавы. Плоский прокат: Справочник / М. Б. Таубкин, С. Г. Цукерман, Д. Г. Карпачев и др. М.: Металлургия, 1970.
- Самсонов Г. В., Винницкий И. М. Тугоплавкие соединения. М.: Металлургия, 1976.

Поступила в редакцию 7/IV 2000 г.