

В заключение отметим, что в модели описано поведение двух главных факторов, отвечающих за структуру порового пространства: плавление и газовыделение. В волне горения в любой момент времени идет большое количество других физико-химических процессов, однако они, по-видимому, определяют более тонкую структуру порового пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блошенко В. И., Бокий В. А., Боярченко В. И. и др. Пористые материалы на основе карбида титана, полученные в режиме горения: Сб. тез. II Всесоюз. симп. по перспективному металлическим материалам, 12—17 мая 1991.— М., 1991.— С. 29.
2. Мержанов А. Г., Рогачев А. С., Мукасян А. С. и др. Макрокинетика структурных превращений при безгазовом горении смесей порошков титана и углерода // ФГВ.— 1990.— 26, № 1.— С. 104.
3. Щербаков В. А., Сычев А. Е., Штейнберг А. С. Макрокинетика дегазации в процессе СВС // Там же.— 1986.— 22, № 4.— С. 55.
4. Левашов Е. А., Богатов О. В., Миловидов А. А. Макрокинетика и механизм СВС-процесса в системах на основе титан — углерод // Там же.— 1991.— 27, № 1.— С. 88.
5. Bloshenko V. N., Bokiya V. A., Borovinskaya I. P. et al. Adsorption — diffusion theory of impurity oxygen evolution from solid flames: III Int. Seminar on Flame Structure, 18—23 Sept. 1989.— Alma-Ata, 1989.— С. 100.
6. Быховский А. И. Растекание.— Киев: Наук. думка, 1983.— 120 с.
7. Елютин В. П. и др. Высокотемпературные материалы. Ч. II.— М.: Металлургия, 1973.— 150 с.
8. Bloshenko V. N., Bokiya V. A., Babkin S. B. et al. Formation of the porous structure of SHS-products: First Int. Symp. on Self Propagating High-Temperature Synthesis, 23—28 Sept. 1991.— Alma-Ata, 1991.— С. 88.
9. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация.— М.: Мир, 1974.— 687 с.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Гидродинамика.— М.: Наука, 1988.— Т. VI.— 735 с.
11. Булаев А. М., Веденеев С. В., Буцацкий Л. М. и др. Структурные превращения в многокомпонентной системе при гетерогенном горении // ФГВ.— 1990.— 26, № 2.— С. 79.

п. Черноголозка

Поступила в редакцию 9/XII 1991

УДК 546

А. И. Трофимов, В. И. Юхвид

ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГОРЕНИЕ СИСТЕМЫ Ti + C

Экспериментальные исследования выявили сильное влияние высокочастотного электромагнитного поля на температуру и полноту химического превращения в волне горения; оценки показали, что зоны выделения тепла за счет химического и электромагнитного источников соизмеримы по величине и пространственно перекрываются.

Постоянные электрические и магнитные поля оказывают сильное воздействие на горение газовых [1, 2] и конденсированных [3] систем. Пропускание электрического тока через высокоэкзотермические смеси металлов и неметаллов [4], а также воздействие высокочастотным электромагнитным полем [5] может привести к воспламенению смеси.

В настоящей работе изучено влияние электромагнитного поля на горение безгазовой системы Ti + C. В качестве источника электромагнитного поля (ЭМП) использовали высокочастотную индукционную установку ВЧГ-0,44/10. Мощности ЭМП варьировали с помощью изменения анодного напряжения V от 0 до 7 кВ при частоте $44 \cdot 10^4$ Гц. Во всех экспериментах использовали титан марки ПТМ и графит с дисперсностью менее 45 мкм. Смесь титана с графитом располагали на диэлектрической

© А. И. Трофимов, В. И. Юхвид, 1993.

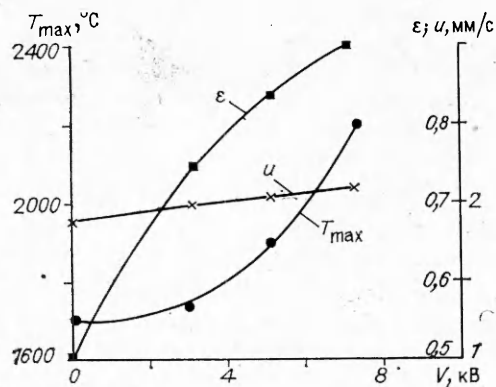


Рис. 1.

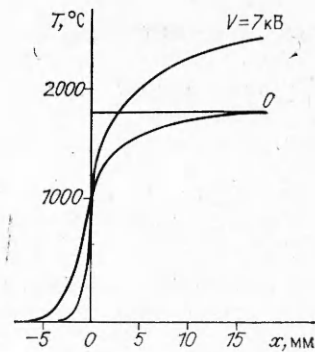


Рис. 2.

подложке из ацетата в виде слоя длиной 5 см, шириной и толщиной по 1 см. Воспламенение смеси производили вольфрамовой спиралью после вывода анодного напряжения на постоянное значение. В экспериментах измеряли температуру в волне горения T и время горения t с помощью двух термопар, помещенных на расстоянии $l = 3$ см друг от друга. Скорость горения рассчитывали по формуле $u = l/t$. Полноту химического превращения рассчитывали по формуле $\epsilon = (c - \bar{c})/c$, где \bar{c} и c — содержание свободного углерода в продукте горения и содержание углерода в исходной смеси; \bar{c} определяли методами химического анализа.

Предварительные эксперименты показали, что исходная смесь не поглощает ЭМП и перед иницированием горения имеет комнатную температуру. Конечный продукт горения без ЭМП имеет вид слабо спеченного материала и практически не имеет прочности. При максимальном поле ($V = 7,0$ кВ) конечный продукт имеет вид плотного монолита и достаточно высокую прочность. В отличие от исходной смеси за счет спекания увеличивается электропроводность, конечный продукт горения интенсивно поглощает ЭМП и может быть разогрет на данной экспериментальной установке до температуры 2000°C .

Количественные зависимости T , u и ϵ от величины анодного напряжения представлены на рис. 1. Из графиков следует, что с ростом V в изученном интервале изменений максимальная температура в волне горения T_{max} и полнота химического превращения возрастают на 500°C и в 1,8 раза соответственно, а скорость горения практически не изменяется. Следует отметить сильное влияние поля на распределение температуры в волне горения (рис. 2) после точки перегиба. В точке перегиба температура для $V = 0$ и 7 кВ одинакова и составляет 1000°C , т. е. реакция в волне горения как в случае ЭМП, так и при его отсутствии начинается при одинаковой температуре.

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют в пользу того, что рост T , T_{max} и ϵ с увеличением мощности ЭМП определяется воздействием ЭМП на высокотемпературную часть волны горения, где происходит образование конечного продукта (TiC), спекание частиц и увеличение электропроводности, что приводит к поглощению ЭМП.

Из теории индукционного нагрева известно, что основная мощность электромагнитного источника сосредоточена в пределах СКИН-слоя толщиной δ . Величину δ приближенно можно оценить по формуле [6]

$$\delta = c/\sqrt{2\pi\mu\sigma\omega},$$

где c — скорость света; μ , σ — магнитная проницаемость и удельная электропроводность среды при температуре горения; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота ЭМП. Подставляя в формулу характеристики TiC и учитывая, что $\mu = 1$, $\sigma = 10^4$ Ом·м, $f = 44 \cdot 10^4$ Гц, получаем $\delta = 10^{-2}$ м. Эта величина по порядку соизмерима с шириной волны горения (см. рис. 2). Следовательно, зоны выделения тепла за счет химического и электро-

магнитного источников могут взаимно перекрываться, при этом источник ЭМП движется за фронтом горения.

Таким образом, данный эффект обусловлен увеличением электропроводности за фронтом горения. Это приводит к поглощению энергии ЭМП и появлению дополнительного теплового источника электромагнитной природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саламандра Г. Д. Распространение пламени в поперечном электрическом поле // Горение и взрыв.— М.: Наука, 1972.— С. 309—312.
2. Майоров Н. И. Передача пламени через узкие каналы в отсутствие электрического поля и при его наложении // ФГВ.— 1986.— 22, № 6.— С. 58—63.
3. Кирдяшкин А. И., Максимов Ю. М., Мержанов А. Г. Влияние магнитного поля на горение гетерогенных систем с конденсированными продуктами реакции // Там же.— С. 65—72.
4. Князик В. А., Мержанов А. Г., Соломонов В. Б. и др. Макрокинетика высокотемпературного взаимодействия титана с углеродом в условиях электротеплового взрыва // Там же.— 1985.— 21, № 3.— С. 69—73.
5. Dalton R. C., Ahmad I., Clark D. E. Combustion synthesis using microwave energy // Ceram. Engng Sci.— 1990.— N 11 (9—10).— P. 1729—1742.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред.— М.: Наука, 1982.— С. 623.

п. Черноголовка

Поступила в редакцию 27/VII 1992

УДК 546.07 : 621.762

Б. М. Вольпе, В. В. Евстигнеев, Е. П. Зырянов

КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР ГОРЕНИЯ СЛОЖНОЙ СВС-СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНА

Для смесевой СВС-системы титан — алюминий — углерод — легирующий элемент, характеризующейся совместным протеканием реакции образования интерметаллидной и карбидной фаз гетерогенного целевого материала, а также неединственностью режима взаимодействия, изучена зависимость критического диаметра горения от концентрационного состава реакционной смеси и начальных условий синтеза. Установлена взаимосвязь критического диаметра горения с особенностями бинарных диаграмм состояния компонентов, между которыми реализуются взаимодействия, лимитирующие температуру горения системы. Экспериментально определены значения критического диаметра горения.

При изучении горения экзотермических конденсированных систем значительное внимание уделяется влиянию на параметры взаимодействия тепловых потерь, характеристикой которого служит динамика критического диаметра горения в функции начальных условий и термодинамических параметров синтеза. Существующие методики (например, [1]) предполагают отклонение системы от адиабатичности путем уменьшения диаметра образцов и изучение параметров взаимодействия на пределе погасания.

В настоящей работе изучена зависимость критического диаметра горения от комплекса параметров синтеза: начальной температуры, состава смеси и температуры горения. Такая постановка позволяет, кроме выяснения взаимного влияния кинетических и термодинамических параметров горения, сделать также вывод о возможности достижения критического диаметра d_* при заданном комплексе начальных параметров реакции. Знание этой величины позволит корректно определять размеры наиболее тонких конструктивных элементов при проектировании изделий, получаемых в режиме горения из исследованных СВС-смесей.

Объект изучения — смесевая система титан — алюминий — углерод

© Б. М. Вольпе, В. В. Евстигнеев, Е. П. Зырянов, 1993.

6 Физика горения и взрыва № 1, 1993 г.

73