

ной работе алгоритму ($\varphi(\eta) = e^{-5\eta}$) дает $E = 19,8$ ккал/моль, $k = 5,45 \cdot 10^7$ с⁻¹.

При решении задачи (5) с найденными значениями k и E получено $\delta_{кр} = 0,6$ мм. Эксперимент по сжиганию зажатых между медными блоками пластин (рис. 2) показал хорошее согласие с расчетом: $2\delta_{кр} = 1,1 \div 1,2$ мм.

Таким образом, представленные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Описанная методика при известном законе тепловыделения дает возможность определить его кинетические параметры.

2. Если вид функции тепловыделения неизвестен, полученная при подходящей аппроксимации кинетической функции $\varphi(\eta)$ эффективная функция $W(T, \eta)$ при равенстве скоростей горения обеспечивает и равенство критических диаметров. Это дает возможность определять критический диаметр по экспериментальной зависимости $u(T_0)$.

В заключение отметим, что проблема точности и единственности определения кинетических констант в зависимости от величины экспериментальных погрешностей требует самостоятельного рассмотрения.

Поступила в редакцию 8/VIII 1983,
после доработки — 16/I 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Мержанов. СВС-процесс: теория и практика горения. Препринт ОИХФ АН СССР. Черноголовка, 1980.
2. А. Г. Мержанов. Теория безгазового горения. Препринт ОИХФ АН СССР. Черноголовка, 1973.
3. В. В. Александров, В. В. Болдырев. Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук, 1974, 9, 4.
4. В. В. Александров. Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук, 1977, 7, 3.
5. V. V. Aleksandrov, V. V. Boldyrev, V. V. Marusin. e. a. J. Thermal analysis, 1977, 13, 2.
6. А. Г. Мержанов. ФГВ, 1973, 9, 1.
7. А. П. Алдушин, А. Г. Мержанов, Б. И. Хайкин. Докл. АН СССР, 1972, 204, 5.
8. А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1977, 233, 6.
9. В. М. Шкиро, И. П. Боровинская. — В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1975.
10. Т. С. Азатян, В. М. Мальцев, А. Г. Мержанов и др. ФГВ, 1979, 15, 1.
11. Б. И. Хайкин. — В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1975.
12. И. Бард. Нелинейное оценивание параметров. М.: Статистика, 1979.
13. Ф. Гилл, У. Моррей. Численные методы условной минимизации. М.: Мир, 1977.
14. Н. Н. Калиткин. Численные методы. М.: Наука, 1978.
15. В. В. Александров, В. И. Смирнов, В. В. Болдырев. ФГВ, 1979, 15, 3.
16. А. А. Зенин, Г. А. Нерисян. Структура зон волны СВС при образовании боридов вблизи критических условий погасания. Препринт ОИХФ АН СССР. Черноголовка, 1981.
17. А. А. Зенин, А. Г. Мержанов, Г. А. Нерисян. ФГВ, 1981, 17, 1.
18. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 1.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ГОРЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ С ТВЕРДОФАЗНЫМИ ПРОДУКТАМИ РЕАКЦИИ

Ю. М. Максимов, А. И. Кирдяшкин, А. Г. Мержанов, Л. Г. Расколенко
(Томск)

В работах [1, 2] на примере горения системы Ti—В показано, что высокочастотные механические колебания в условиях лимитирующего действия фильтрации жидкого титана приводят к значительному увеличению скорости горения. В данной работе исследуется влияние ультразвуковых колебаний на образование конечного продукта реакции.

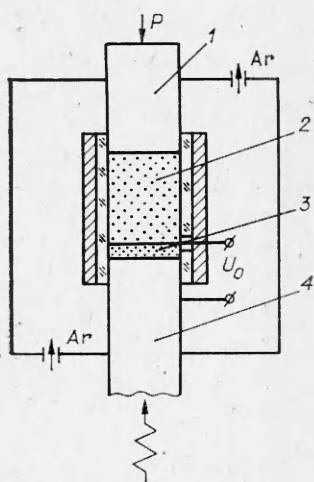


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

Для опытов выбрана система $Ti - B - Fe$, в ходе горения которой происходит плавление продуктов. В качестве исходных реагентов использовали порошки титана марки ПТМ с размером частиц менее 40 мкм, железа карбонильного ОСЧ с размером частиц 10 мкм и бора аморфного с массовым содержанием основного вещества 98,8%. Порошки титана и бора смешивали в расчете на образование конечного продукта TiB_2 с добавлением различных количеств порошка железа. Исследовали смеси с массовым содержанием Fe 70, 65, 50% и меньше. Составы прессовали в виде образцов диаметром 20 и высотой 30 мм с относительной плотностью 0,55. Прессованные образцы плотно вставляли в стальные стаканы. В ряде случаев на боковой поверхности стаканов имелась щель для фоторегистрации процесса горения. Образцы сжигали в специальной установке (рис. 1) в токе аргона. Высокочастотные вибрации от магнотрикссионного преобразователя ПМС-15 мощностью 4 кВт и частотой 18 кГц передавались к смеси 2 через волновод 4. Образец поджимался к торцу волновода подвижным штоком 1 с постоянной нагрузкой $P = 100$ кг. Поджигание осуществляли со стороны волновода кратковременным пропусканием тока через поджигающий состав 3. Питание преобразователя производилось от ультразвукового генератора УЗГ2-4. Поскольку в ходе горения смеси резонансная частота акустической системы изменялась, для обеспечения максимальной мощности ультразвука использовали систему автоматической подстройки частоты. Постоянство амплитуды колебаний контролировали с помощью запоминающего осциллографа С8-13, на который во время опытов подавали сигнал с пакета акустической обратной связи. В связи с кратковременностью процесса сгорания (0,4—4 с) озвучивание образцов начинали до момента зажигания смеси и заканчивали через 10—15 с после прекращения горения. Структуру продуктов реакции изучали на микроскопе МИМ-6. Фазовый состав продуктов определяли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. Максимальные температуры горения измеряли вольфрам-рениевыми термопарами по методике [3].

Как показали опыты, скорости горения «озвученных» и «неозвученных» образцов были примерно равны, что указывает на диффузионный режим горения выбранных систем.

В конечных продуктах горения «неозвученных» образцов обнаруживаются в основном фазы TiB_2 и Fe . В составах с содержанием железа 70% помимо указанных фаз присутствует соединение Fe_2B . Изучение закаленных «неозвученных» образцов показало, что образование фазы Fe_2B происходит по твердофазному механизму на начальных этапах взаимодействия. Последнее связано с тем, что при достаточно низких температурах коэффициент диффузии бора в железо намного больше, чем в титан [4]. Присутствие промежуточной фазы Fe_2B в конечном продукте обусловлено, по-видимому, тем, что при больших содержаниях железа она не успевает полностью раствориться в образующихся эвтектиках $Fe_2B - Fe$ и $TiB_2 - Fe$ [5].

На рис. 2 приведены фотографии шлифов «озвученных» (а) и «неозвученных» (б) образцов с 65% Fe . Под действием ультразвука размеры первичных зерен TiB_2 уменьшаются в несколько раз. Распределение этой фазы по всему продукту становится существенно равномернее. Для составов с содержанием железа 70% действие ультразвука приводит к значительному уменьшению неравновесной фазы Fe_2B . При содержании железа в исходном составе ниже 50% отличий в структурах и фазовом составе «озвученных» и «неозвученных» образцов не наблюдается.

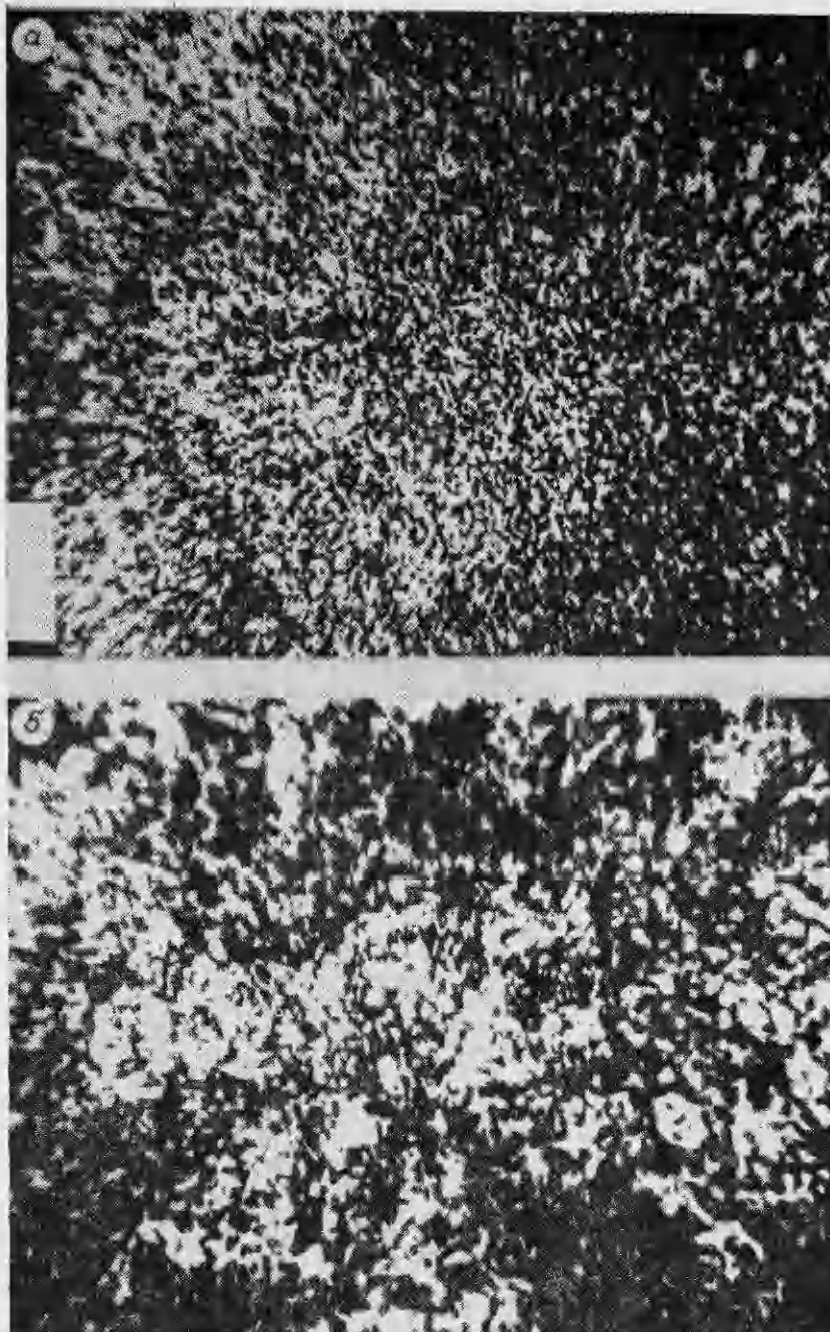


Рис. 2. Микроструктура конечного продукта состава $Ti + 2B + 65\% Fe$.

На рис. 3 приведена диаграмма состояния системы TiB_2-Fe [5] и зависимость измеренной максимальной температуры горения от состава. Видно, что в ходе горения развиваются температуры, превышающие температуру эвтектики T_3 , поэтому конечные продукты в волне горения должны состоять из твердого TiB_2 и жидкого раствора $Ti-B-Fe$. Можно предположить, что механизм воздействия ультразвука на продукты горения во многом сходен с действием высокочастотных колебаний на кристаллизацию обычных расплавов. Как известно [6], при ультразвуковой обработке расплавов основные изменения в структуре материала обусловлены возникновением акустических потоков, кавитационных яв-

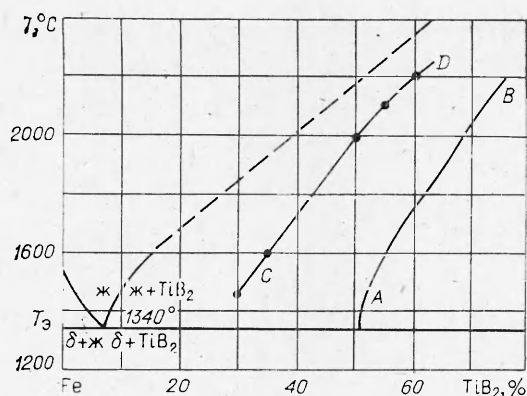


Рис. 3. Диаграмма состояния системы $\text{TiB}_2\text{—Fe}$ [5]. CD — зависимость максимальной температуры горения от состава смеси; AB — расчетная граница потери текучести продукта.

лений и переменных сил давления в жидкости перед фронтом кристаллизации. В данном случае эти факторы действуют на твердожидкую массу, находящуюся на участках волны горения от максимальной температуры эвтектики. Под действием ультразвука происходит перемешивание расплава, диспергирование отдельных частиц твердой составляющей, что, в свою очередь, приводит к гомогенизации структуры конечных продуктов.

Естественно, что эффективность «озвучивания» должна во многом зависеть от того, на каких стадиях и при каких температурах кристаллизующиеся продукты горения теряют текучесть. Согласно [7], вязкость суспензий резко возрастает при стремлении объемной доли твердого компонента ϕ к определенной предельной величине ϕ_m . Если считать, что твердые частички суспензий имеют сферическую форму и одинаковые размеры, то $\phi_m \approx 60,5\%$ [7]. На рис. 3 ниже кривой AB находится твердожидкая область диаграммы состояния, в которой объемная доля твердой фазы более $60,5\%$. Кривая AB построена с использованием правила рычага в приближении аддитивного сложения объемов железа и диборида титана в жидком растворе. В условиях равновесия продукты горения с содержанием железа более 47% имеют $\phi < \phi_m$ и конечную вязкость вплоть до температуры эвтектики. При содержании железа менее 47% продукты теряют текучесть при $T > T_e$. Поэтому изменением вязкости свойств можно объяснить наблюдаемое в экспериментах значительное воздействие ультразвука на продукты горения составов с 65 и 70% Fe и отсутствие этого воздействия при содержании железа менее 50% .

Очевидно, что для повышения эффективности «озвучивания» необходимо понижать вязкость продуктов за волной горения и увеличивать время, в течение которого образующийся продукт сохраняет текучесть. Один из возможных путей изменения этих параметров — повышение максимальной температуры горения предварительным подогревом исходной смеси (как показали исследования, предварительный подогрев способствует гомогенизации продукта); другой путь — изменение частоты ультразвука. Согласно [8], вязкость суспензии уменьшается с увеличением частоты вибрации.

Поступила в редакцию 22/VII 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Максимов, А. Г. Мержанов, А. И. Кирдяшкин. — В кн.: Проблемы технологического горения. Т. 1. Черногоровка, 1981.
2. А. И. Кирдяшкин, Ю. М. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1981, 17, 6.
3. В. М. Маслов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1978, 14, 5.
4. Г. В. Самсонов, И. П. Виницкий. Тугоплавкие соединения. М.: Металлургия, 1976.
5. А. К. Шурип, В. Б. Панарин. Изв. АН СССР. Металлы, 1975, 5.
6. А. А. Абрамов. Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле. М.: Металлургия, 1972.
7. В. В. Мошев. — В кн.: Реология. Тр. Всесоюзной школы по реологии. Новосибирск, 1977.
8. R. Mahrabian, M. C. Flemings. Aluminium (BRD), 1975, 51, 11.