

ПИРОМЕТРИЯ СВ-СИНТЕЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

М.А.Гумиров, А.Т.Евтушенко, С.С.Торбунов, Д.Х.Абед

Эффективные комплексные методы контроля и регистрации теплофизических температурно-скоростных характеристик продолжают оставаться актуальными при физических исследованиях динамики развития и механизмов образования продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Ускорение темпов развития номенклатуры изделий, выполненных на основе композиционных и интерметаллических соединений, диктует рост оснащенности технологическими средствами контроля исследовательских лабораторий и промышленных производств. Применение высокоинформативных средств диагностики дает исследователям возможность перевода в разряд управляемых, ранее неуправляемых или слабоуправляемых термохимических реакций СВС.

Инструментальная сталь обладает высокой твердостью в сочетании с высокими физико-механическими свойствами и износостойкостью, которые обеспечивают их широкое применение в качестве эффективного инструментального материала для резания и обработки металлов давлением, бурения горных пород, а также изготовления различных деталей, подвергающихся интенсивному износу. Достижение высоких физико-механических и эксплуатационных свойств твердых сплавов возможно лишь при использовании методов получения твердых сплавов как гетерогенных материалов, состоящих из зерен высокотвердых тугоплавких соединений (карбидов, реже нитридов или боридов переходных металлов), сцементированных пластичным металлом - связкой. В качестве тугоплавкой фазы твердых сплавов наиболее широко используются карбиды вольфрама, титана, хрома, тантала, а в качестве металла - связки - кобальт, никель, железо и их сплавы. Наиболее эффективным методом получения твердых сплавов в последнее время признан открытый академиком А.Г. Мерзановым СВ-синтез характеризующийся такой уникальной особенностью как существование в течение короткого времени реакции высокотемпературной твердожидкой среды, допускающей различные типы воздействий (электрические, химические, термодинамические и т.д.) [1]. Кроме этих воздействий возможно

использование в СВС системах различных легирующих и инертных добавок, позволяющих как изменять режим синтеза, так и регулировать структуру и свойства конечного продукта [2].

Для исследования взаимосвязей этих воздействий на теплофизические процессы синтеза возможно применение регистраторов динамических оптических полей - пирометров, выполненных на дискретных и многоэлементных фотоприемниках, работающих в режиме прямого детектирования или в режиме накопления заряда. Главной особенностью таких устройств является бесконтактность и малая инерционность измерений, в отличие от контактных температурных датчиков, что способствует проведению тепловизионного контроля быстропротекающих высокоэнергетических процессов, с повышенной точностью.

Измерение яркостной температуры и скорости синтеза продукта в зоне горения высокоэнергетических смесей связано с рядом проблем. Реакционная ячейка имеет малый размер (100-500 мкм), ее появление в поле зрения пирометра носит вероятностный характер. Очень часто синтез необходимо проводить в форме конечного изделия, при этом стенки реактора не всегда возможно выполнить из оптически прозрачного материала. Методы оптической пирометрии позволяют определять теплофизические параметры на поверхности синтезируемого изделия [3] и не способны, без принятия дополнительных мер, обеспечить исследователя информацией о структуре горения в глубинных слоях продукта. Однако указанные недостатки пирометрических методов не являются непреодолимыми и в лабораторных условиях, с достаточной долей вероятности легко могут быть преодолены, и при этом позволяют получать достоверную информацию о процессе синтеза [3, 4].

Целью работы явилось создание метода и регистрирующей аппаратуры по диагностике тепловых параметров высокоэнергетических смесей на основе окалины стали с легирующими добавками, а также получение зависимости скорости горения таких смесей от различных добавок.

ПИРОМЕТРИЯ СВ-СИНТЕЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Для регистрации температуры фронта горения нами был разработан быстродействующий измеритель скорости и температуры. Этот прибор позволяет проводить измерения времяпролетным методом интегральных и локальных скоростей, оценивать интегральное температурное распределение в двух точках, измерять температуру фронта горения с коррекцией на коэффициент перекрытия, определять среднюю скорость распространения волны горения СВ-синтеза смеси дисперсных материалов, а также измерять температурную динамику реакции высокоэнергетических смесей.

Пирометр (рис.1) построен на основе оптической фотодиодной камеры, которая содержит: оптическую систему, служащую для юстировки оптических каналов, телескопическую приставку ПЗФ-1, на которой установлен телевизионный объектив, лоток для установки сменных светофильтров (КС-18, КС-19, ИКС-3 и т. д.). В качестве фотоприемников используются два кремниевых дискретных фотодиода ФД-256А, на которые наложены апертурные диафрагмы, задающие поле зрения фотоприемников до 100 мкм на поверхности объекта. Оптическая головка содержит так же два преобразователя "ток-напряжение", два логарифмических усилителя первого порядка, линейризирующих выходной сигнал, усилители мощности, согласующие выходные цепи ФД - камеры с 50-омными входами аналого-цифрового преобразователя, выполненного на основе встраиваемой в ПЭВМ платы сбора данных ЛА-n20-РС1; систему балансировки каналов по постоянному току и схемы компенсации темновых токов фотодиодов.

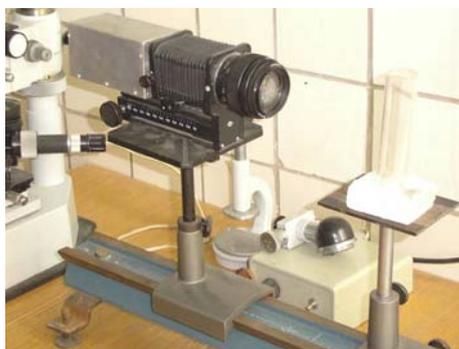
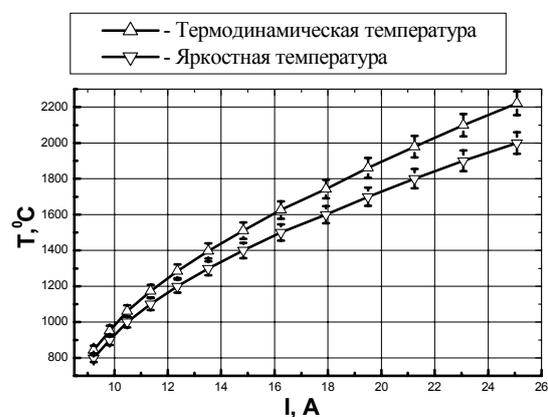


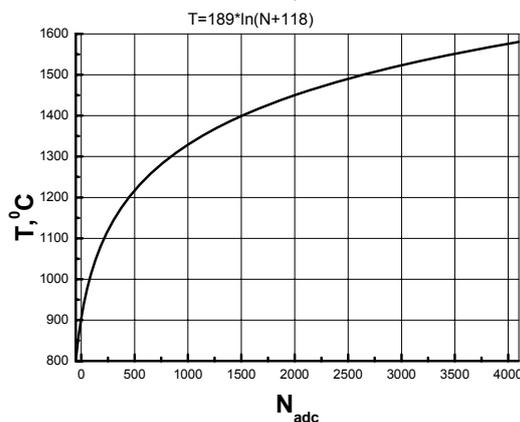
Рис. 1. Пирометрический комплекс

Блок аналого-цифровой обработки и синхронизации, реализует следующие функции: аналого-цифрового преобразование,

расчет коэффициента перекрытия, нормировку сигналов, выработку синхросигналов, как для внутренних узлов, так и для внешних устройств, хранение полученной информации, а также ее передачу через внутренний интерфейс (шина РС1) в управляющую ЭВМ. Температурная калибровка пирометра осуществлялась по стандартной методике с использованием температурной лампы ТРУ-1100. На рис.2 представлены график зависимости яркостной и термодинамической температуры эталона от тока, протекающего через него и график преобразования градаций АЦП в температуру, в соответствии с которым работает пирометр.



а)



б)

Рис. 2. Яркостная и термодинамическая температуры эталонной лампы ТРУ1100 (а), калибровочная функция пирометра (б)

Для проведения эксперимента исходная шихта (смесь Fe_2O_3 , Al и TiC) помещалась в стальную оснастку, имеющую прямоугольное отверстие для установки в нем держателей кварцевого стекла, через которое регистрируется яркостная температура поверхности

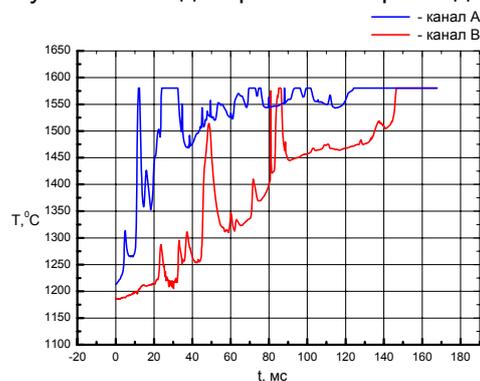
шихты, либо исходную шихту помещают в кварцевый цилиндр. Процесс СВС инструментальной стали наблюдался в виде факела с разбрызгивающимися каплями расплава (рис.3), одновременно с этим производилась запись и оцифровка данных о тепловой структуре процесса синтеза, температурные профили горения, представлены на рис. 4.



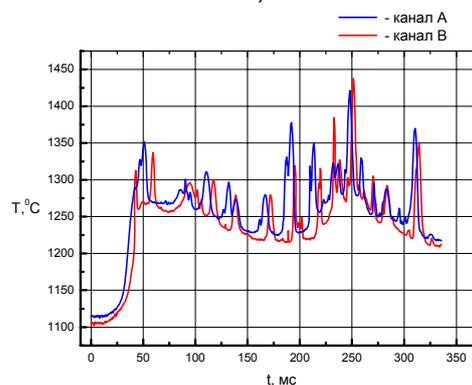
Рис. 3. Процесс синтеза инструментальной стали

Зажигание процесса СВС производится инициирующим тепловым импульсом от расположенного в верхней части небольшого количества диборида титана. Регистрация температурной динамики и теплового поля на поверхности шихты производится фотодиодной камерой пирометра или камерой пирометра - тепловизора. Оптическая камера и оснастка с шихтой устанавливаются на оптической скамье. Через оптическую систему пирометра производится фокусировка на поверхности шихты. Устанавливаются требуемое расстояние между камерой и оснасткой, диафрагма оптической системы камеры. Запускается программа регистрации в микропроцессорном блоке, вводится необходимая частота дискретизации, устанавливается светофильтр. После этого, производится ини-

циация диборида титана. В момент прохождения фронта горения через поле зрения пирометра первого канала автоматически запускается программа оцифровки и записи в ОЗУ видеосигнала от процесса СВ-синтеза, затем по форме видеосигнала микропроцессорный блок вычисляет коэффициент перекрытия, производит нормировку числовых данных. После остывания спеченный образец, находящийся в оснастке, помещается в муфельную печь для рекалибровки показаний пирометра. Из полученных термограмм видно, что температура в процессе взаимодействия имеет явно нестационарный характер, периоды роста сменяются периодами стабилизации и даже снижения, так как реакционная ячейка в процессе синтеза проходит ряд превращений. Экзотермические участки сменяют участки с эндотермическим распадом.



а)

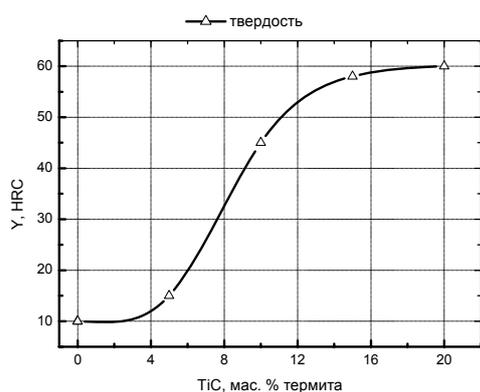


б)

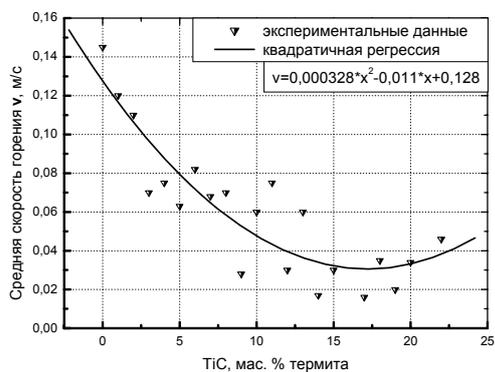
Рис. 4. Типичные графики температуры в волне горения СВС: смеси $Fe_2O_3, Al + TiC$ (а – 5 % TiC , б – 15 % TiC)

Полученные образцы спеченного материала подвергались испытаниям на твердость. По результатам экспериментов и характеру расположения точек построены зависимости твердости сплава (в HRC) и скорости распространения фронта горения (в м/с) от количественного содержания карбида титана в шихте (в масс. % термита) (рис. 5).

ПИРОМЕТРИЯ СВ-СИНТЕЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ



а)



б)

Рис. 5. Твердость (а) и средняя скорость горения (б) системы $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al} + \text{TiC}$ в зависимости от массовой доли карбида титана

С увеличением содержания карбида титана в шихте твердость сплава увеличивается, а скорость фронта горения уменьшается по нелинейному закону, причем изменение характера зависимостей происходит практически при одном и том же значении массы карбида титана в шихте (4-12 масс. % термита).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и CRDF в рамках программы BRNE (проект № Y1-P-16-10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мержанов А.Г. Твердопламенное горение. - Черноголовка: ИСМАН, 2000.-224 с.
2. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. - Томск: Из-во ТГУ, 1989.-214 с.
3. Гуляев П.Ю., Гумиров М.А., Евстигнеев В.В. Способ измерения температуры фронта горения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза смеси дисперсных материалов. Патент РФ № 2094787, по заявке № 96113415, с приоритетом от 01.07.96.
4. Коротких В.М., Гуляев П.Ю., Гумиров М.А., Еськов А.В., Евстигнеев В.В. Способ измерения яркостной температуры. Патент РФ № 2099674, по заявке № 96113418, с приоритетом от 20.12.97 г.