

ной связи параметра порядка с управляющим параметром и отрицательной обратной связи с сопряженным полем. Поэтому, кроме релаксации к равновесному состоянию в течение времени τ^p , при участии двух степеней свободы могут реализовываться как режим запоминания, так и автоколебания, а при участии трех – возможен переход в хаотическое состояние. В результате состояние технологической системы характеризуется несколькими режимами:

1) релаксационным – при времени релаксации параметра порядка, намного превосходящим времена релаксации остальных степеней свободы ($\tau_{\Pi}^p > \tau_y^p$ и $\tau_{\Pi}^p > \tau_c^p$);

2) с запоминанием – при переходе из неупорядоченного состояния в «замороженный» беспорядок, реализуемым в случае, когда время релаксации параметра порядка окажется намного меньше остальных времен ($\tau_{\Pi}^p < \tau_y^p$ и $\tau_{\Pi}^p < \tau_c^p$);

3) автоколебательным – при соизмеримости характерных времен изменения параметра порядка и управляющего параметра или сопряженного поля ($\tau_{\Pi}^p \gtrsim \tau_y^p$ или $\tau_{\Pi}^p \gtrsim \tau_c^p$);

4) стохастическим – возможным при соизмеримости характерных времен всех трех степеней свободы ($\tau_y^p \gtrsim \tau_{\Pi}^p \gtrsim \tau_c^p$).

Следовательно, при моделировании производственных систем в процессах обработки изделия возможно понижение размерности задачи описания до трех степеней свободы технологической среды. Моделирование технологических систем на основе синергетического подхода позволяет учитывать стабильность формирования параметров качества и рассматривать механизмы управления устойчивостью процессов при использовании обратных связей.

Таким образом, при проектировании производственных систем принятие КТР целесообразно проводить на основе синергетического анализа технологических процессов и объектов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С РЕАГИРУЮЩЕЙ СМЕСЬЮ СВС

Клубович В.В., Кулак М.М., Хлопков Ю.В.

Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, hlopkov@tut.by

Введение. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет собой режим протекания сильной экзотермической реакции, в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи с образованием твердых конечных продуктов. Термодинамическая неустойчивость протекания процесса СВС переводит его в ряд перспективных технологий получения материалов с наперед заданной структурой и физико-механическими свойствами [1]. Однако получение таких материалов из смеси реагирующих компонентов с низкой экзотермичностью и заданной пористостью имеет достаточно большие трудности, а иногда практически невозможно.

Весьма перспективным, с точки зрения управления функциональными параметрами получаемых материалов, является использование дополнительного физи-

ческого воздействия на процессы СВС в виде ультразвука центробежных сил и т.д. [2]. Значительный интерес представляет управление процессами СВС лазерным излучением [3]. При соответствующем подборе параметров лазерного луча процесс СВС порошковых материалах будет идти только в зоне воздействия лазерного излучения.

В исследованиях, проведенных в последние годы в ИТА НАН Беларуси, выяснено, что поглощение лазерного излучения порошками носит объемный характер [4]. Одна часть потока излучения поглощается частицами, которые расположены на поверхности порошкового слоя и подвергаются прямому действию излучения. Другая часть потока излучения проникает через поры вглубь порошка, где многократно отражается от частиц, расположенных на более низких, глубинных уровнях. Такого рода поры-колодцы играют роль своеобразных черных тел (ловушек), интенсивно поглощающих излучение. В результате подбора параметров облучения (длины волны, плотности мощности, состава порошка) можно управлять по глубине температурой реагирующей смеси нанесенного слоя, что ведет к конечному изменению его состава и структуры.

Постановка задачи. Основой данной работы явилось изучение взаимодействия лазерного излучения с реагирующей шихтой СВС **Ti-C** и **Ni-B**, находящихся в стехиометрическом равновесии. Эти композиции считаются в последнее время как весьма перспективные. В экспериментах, прежде всего наиболее важно измерение коэффициента поглощения лазерного излучения **A** (коэффициента отражения **R**). Именно его величина наиболее влияет на тепловые процессы в зоне воздействия излучения и параметры образующихся компонент. Кроме того, по поведению **A** можно предварительно судить о характерах физических процессов, происходящих при управляемом лазером СВС.

Схема эксперимента. Состав для СВС наносился методом свободного насыпания на керамическую подложку. В качестве лазерного излучения использовалась установка «Квант-15» с длиной волны 1,06 мкм, длительностью излучения 4 мс и частотой следования 5 Гц. Энергия импульса варьировалась от 1 до 5 Дж, а размер пятна излучения 100-500 мкм. Передвижение рабочей смеси во время облучения не осуществлялось.

Фактически физические процессы при СВС зависели от состава смеси, плотности мощности излучения и времени его воздействия. Совокупные характеристики параметров процесса подбирались таким образом, чтобы СВС проходил только во время действия лазерного излучения, а граница образования новых компонент была близка к пятну облучения.

В целом схема измерения коэффициента отражения была близка к описываемому в [4,5] (Рис.1).

Излучение лазера (1) проходило через модулятор (2), оптическую систему (3) и падало на поверхность порошка (4). Порошок помещался в кювете (5), которая располагалась в центре интегрирующей сферы (6). Лазерное излучение, отраженное от материала, диффузно интегрировалось поверхностью сферы и падало на фотоприемник (7). Величина сигнала фотоприемника была пропорциональна интенсивности отраженного излучения. Этот сигнал регистрировался на ПЭВМ (8) через электронную систему (9). Установка снабжена оптическим микроскопом (10) с подсветкой (11). В реагируемую зону подавался аргон.

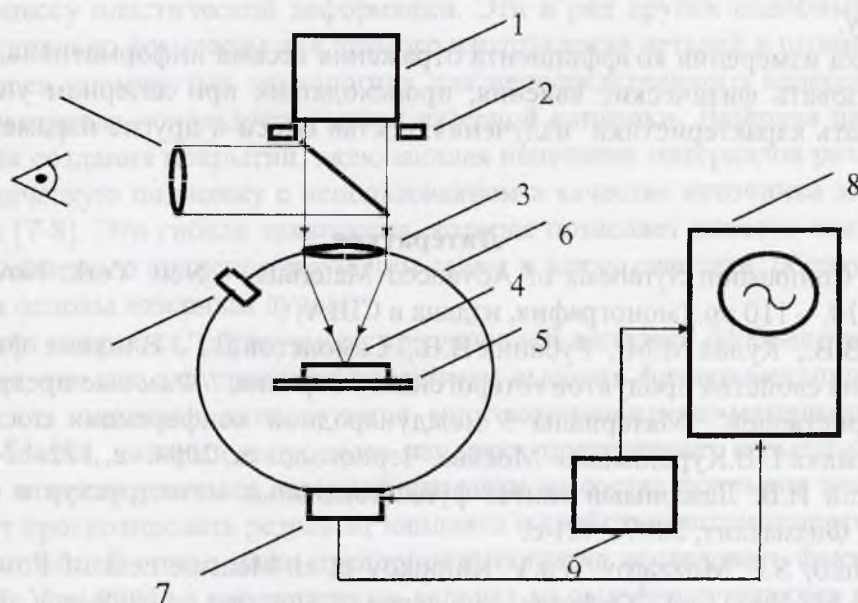


Рис.1.Схема установки для измерения поглощательной способности

Результаты. На рис.2 приведены результаты измерений коэффициента поглощения для композиции **Ti-C**: отдельно **Ti** и **C**, а также их смеси. Характер поведения компонент смеси при лазерном облучении имеет свои особенности. Все графика имеют выраженные 2 участка: нагрев материала до точки плавления и последующее плавление с формированием определенного рельефа поверхности.

Исходное поглощение излучения довольно велико. На участке нагрева и, следовательно, увеличении теплопроводности диэлектрик (**C**) следует к некоторому уменьшению **A**. Для металла (**Ti**) физические процессы идут с точностью наоборот. В смеси компонентов (**Ti-C**) изменение свойств при нагреве практически отсутствует.

При плавлении исходных материалов наблюдается сглаживание поверхности порошков и появление зеркального отражения лазерного излучения, а, следовательно, значительное уменьшение **A**. Такая же картина наблюдается в смеси при плавлении компонент **Ti** и **C** и инициировании реакции СВС.

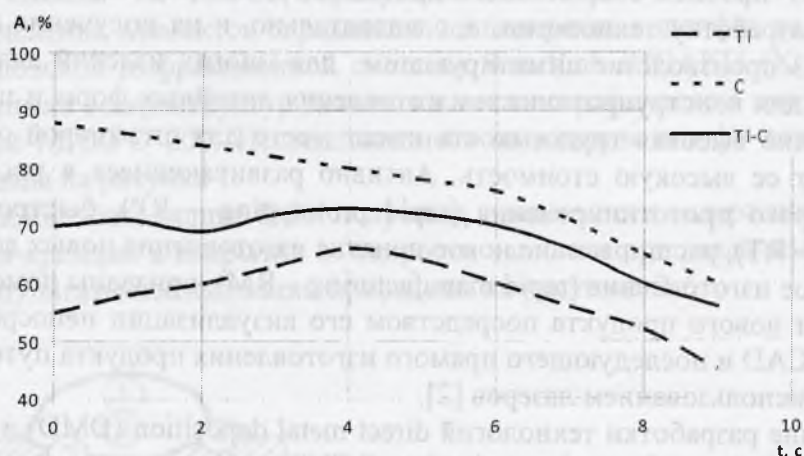


Рис.2. Изменение коэффициента поглощения **A** в процессе управляемого лазером СВС. $P = 2 \times 10^4 \text{ Вт} \times \text{см}^{-2}$

Поведение реакционной смеси Ni-B с лазерным излучением близко к выше-приведенному.

Методика измерения коэффициента отражения весьма информативна, позволяет характеризовать физические явления, происходящих при лазерном управлении СВС, подбирать характеристики излучения, состав смеси и другие параметры процесса.

Литература

1. V.B.Khina. Combustion Synthesis of Advanced Materials. – New York: Nova Science Publishers, 2010. – 110 pp. (монография, издана в США)
2. Клубович В.В., Кулак М.М., Рубаник В.В., Самолетов В.Г. Влияние физических воздействий на свойства продуктов гетерогенного горения. //Фазовые превращения и прочность кристаллов”. Материалы 3 международной конференции посвященной памяти академика Г.В.Курдюмова.- Москва, Черноголовка, 2004.- с. 172-174.
3. Шишковский И.В. Лазерный синтез функциональных мезоструктур и объемных изделий. - М: Физматлит, 2009.-.421 с.
4. N.K. Tolochko, S.E. Mozzarov, Yu.V. Khlopkov et al. Measurement of Powder's Absorptance with Nd:YAG and CO₂ lasers . // Science of Sintering. – 1999. – V. 31 (3). – P. 187-194O.
- 5 Г.Царькова. Оптические и теплофизические свойства металлов, керамики и алмазных пленок при высокотемпературном лазерном нагреве.// Труды Института общей физики им.А.М.Прохорова..-2004.-60.-с.30-82.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОКРЫТИИ ИЗ СПЛАВА ПГ-10Н-01

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И.

БНТУ, г. Минск, Беларусь, e-mail: scvmed@bntu.by

Одной из проблем современного производства является время, которое затрачивается на разработку технологии, а, следовательно, и на получение готовой продукции [1]. В производстве лимитирующим для многих изделий является время, требующееся для конструирования и изготовления литейных форм и штампов всех типов. Особенно высокая трудоемкость имеет место для штамповой оснастки, что обуславливает ее высокую стоимость. Активно развивающиеся в последние годы методы быстрого прототипирования (rapid prototyping – RP), быстрой обработки (rapid tooling – RT), расширяющие новое понятие изготовления новых деталей, называемое быстрое изготовление (rapid manufacturing – RM), призваны помочь в процессе подготовки нового продукта посредством его визуализации непосредственно из базы данных CAD и последующего прямого изготовления продукта путем нанесения материалов с использованием лазеров [2].

Последние разработки технологий direct metal deposition (DMD) в Университете Мичигана, light engineered net shaping (LENS) в Национальной лаборатории в Сандии и direct light fabrication (DLF) в Национальной лаборатории в Лос-Аламосе продемонстрировали, что объемные объекты с плотностью близкой к полной, могут быть произведены непосредственно из базы данных CAD со свойствами эквивалент-