

**ЛАЗЕРНЫЙ НАГРЕВ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аршинов К.И., Бобровский В.В., Крапивная О.Н.,**

**Линевич А.В., Шедьков В.В.**

*Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь,*

*E-mail: itaaki@yandex.ru*

В настоящее время широко используемой технологией является лазерная обработка порошковых материалов, в частности, нагрев порошков, который может быть реализован в технологических процессах сушки порошков, получении из них изделий, покрытий или плавления/испарения порошков (см., например, [1-4]).

Эффективность воздействия лазерного излучения на порошки определяется рядом факторов, к которым относятся размер частиц, шероховатость поверхности, материал и температура порошков, длина волны и плотность мощности лазерного излучения [5-7]. В работе [8] для обработки дисперсных материалов, в частности, графитовых порошков, использовался нагрев частиц порошка путем многократного прохождения лазерного луча через струю порошка. Поперечное облучение потока порошка осуществлялось в реакторе с зеркалами, обеспечивающими многократное воздействие лазерного излучения на частицы порошка. В работе [9] многократное прохождение лазерного излучения через струю порошка, с целью увеличения времени нахождения порошка в области облучения, осуществлялось с использованием кольцевого лазерного луча, направляемого в вертикально расположенное цилиндрическое зеркало, вдоль оси которого осуществлялась подача порошка. В этом методе ввода лазерной энергии в порошковую струю лазерное излучение подводится к цилиндрической струе порошка равномерно по всей поверхности цилиндра. В работе [10] представлен новый метод ввода энергии лазерного излучения в порошковую струю при селективной лазерной наплавке, основанный на использовании конических лазерных пучков. Для формирования конических пучков используется линза-аксикон, позволяющая сфокусировать кольцевое лазерное излучение. Тем не менее, эта работа носит в большей степени расчетный, чем прикладной характер. Реализовать предлагаемые режимы технологического процесса наплавки, например, струи порошка титана диаметром 10 мкм из частиц, имеющих диаметр 0.1 мкм при плотности частиц в струе  $10^{14} \text{ см}^{-3}$  [10], представляется трудновыполнимой инженерной задачей. В той же степени это относится и к условиям формирования и подачи струй наноразмерных порошков.

Очевидно, что рассматриваемые способы нагрева порошков становятся более эффективными при повышении мощности лазерного излучения. Тем не менее, может быть предложен иной способ лазерного нагрева порошковых материалов, заключающийся в организации подачи порошка через внутриврезонаторную область лазера [4].

В данной работе изучался вопрос повышения эффективности нагрева порошков за счет максимального использования мощности лазерного излучения, запасенной в резонаторе и, соответственно, повышения температуры нагрева частиц порошков, не прибегая к дополнительному подводу энергии.

В качестве источника излучения использовался отпаянный электроразрядный  $\text{CO}_2$  лазер, резонатор которого образован глухим фокусирующим зеркалом 1, радиусом  $R=3$  м, из меди и полупрозрачным плоским зеркалом 2 из германия (см. рис.1). Трубка активного элемента 3 диаметром 8 мм и длиной 1.2 м на концах имела окна Брюстера из арсенида галлия. Известно, что излучение  $\text{CO}_2$  лазера ( $\lambda=10.6$  мкм) более эффективно поглощается керамическими и графитовыми порошками, в то время как металлические порошки лучше облучать излучением с длиной волны  $\lambda=1.06$  мкм, используя, например,  $\text{YAG Nd}^{+3}$  лазер [5].

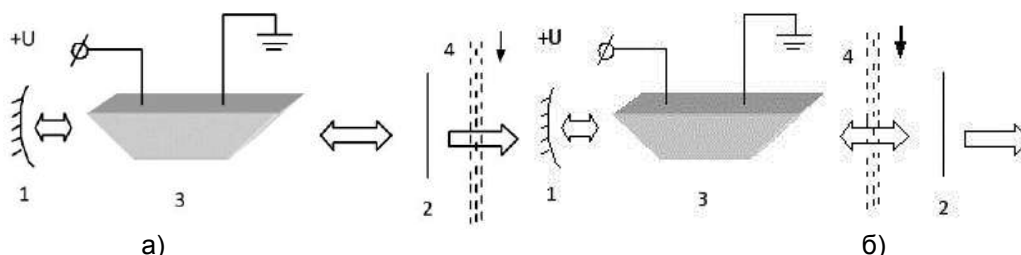


Рисунок 1 – Схема воздействия лазерного излучения на поток частиц графитового порошка: (а) вне резонатора, (б) внутри резонатора  
 1 - глухое Si зеркало, 2 – полупрозрачное Ge зеркало, 3 – активный элемент CO<sub>2</sub> лазера с окнами Брюстера из GaAs, 4 - поток порошка

Выходная мощность используемого лазера была измерена с помощью ИМО-2Н и составляла 20 Вт. Невысокий уровень лазерного излучения выдвигал ряд требований к используемому в эксперименте порошку – необходимость высокой поглотительной способности, малой теплоемкости, высокой теплопроводности, размер частиц не должен был превышать длину волны лазерного излучения. В качестве рабочего был выбран графитовый порошок с размером частиц 1÷10 мкм.

Известно, что в стационарном режиме лазера максимальный вывод энергии из резонатора осуществляется при выполнении условия [11]

$$(1/L)\ln(R_1R_2)^{-0.5}=(k\rho)^{0.5}-\rho, \quad (1)$$

где  $L$ – длина активного элемента;  $R_1$  и  $R_2$  - коэффициенты отражения зеркал резонатора;  $\rho$ – коэффициент потерь;  $k$  - коэффициент усиления слабого сигнала.

В соответствии с формулой (1) оптимальная величина энергии, затраченной на нагрев частиц порошка, определяется такими параметрами лазера как уровень потерь, коэффициент усиления активной среды и коэффициенты отражения зеркал. Уровень потерь зависит, в том числе, и от концентрации частиц порошка, находящегося внутри резонатора (см. рис.1б). Подача порошка в зону нагрева осуществлялась непрерывным воздушным потоком 4 (см. рис.1), в который вводился порошок с помощью питателя, аналогичного описанному в [12]. Следовательно, существует оптимальная концентрация частиц порошка, подаваемого во внутррезонаторную зону нагрева, которую следует подбирать, изменяя производительность питателя и скорость воздушного потока.

В экспериментальных исследованиях было обнаружено, что при оптимальной концентрации графитового порошка, перемещаемого через внутррезонаторную зону нагрева (см. рис.1б), определенная доля частиц разогревается до белого цвета. Порошок той же концентрации, проходящий через зону нагрева вне резонатора (см. рис.1а), не нагревается даже до красного свечения. Сравнение степени нагрева частиц графитового порошка внутри и вне резонатора подтверждает возможность более эффективного нагрева порошка внутри резонатора без срыва генерации.

Следует также отметить, что лазерный резонатор был сформирован по традиционной схеме, используемой при создании лазера, когда требуется вывод максимального излучения из резонатора. При этом выбираются и другие оптимальные условия получения лазерной энергии (состав активной газовой среды, ее температура, величина тока разряда, минимизация потерь на оптических элементах).

Одной из задач настоящей работы являлось получение максимальной плотности мощности излучения внутри резонатора, что также может быть достигнуто заменой полупрозрачного выходного зеркала 2 (см. рис.1) на глухое зеркало. Замена в традиционной конструкции резонатора лазера полупрозрачного выходного зеркала на глухое приведет в дальнейшем к повышению запасенной внутри резонатора мощности и, соответственно, при подаче порошков в зону нагрева к повышению их температуры.

В представленной работе предложен и экспериментально апробирован способ внутрирезонаторного нагрева графитового порошка с использованием непрерывного электроразрядного CO<sub>2</sub> лазера.

**Список литературы:**

1. Толочко Н.К. Применение лазеров в порошковой металлургии // Физика и химия обработки материалов. -1995.– № 1.– С.94–101.
2. Yadroitsev I. Selective laser melting: direct manufacturing of 3D-objects by selective laser melting of metal powders. (LapLambertAcad. Publ., 2009.– 280 pp.)
3. Аршинов М.К., Сарасеко М.Н., Аршинов К.И. Лазерная поверхностная модификация оксидной керамики ZrO<sub>2</sub>:Co/Ni и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Co // Вестник Витебского государственного технологического университета. -2009.– № 17.– С.108–111.
4. Патент 20132 Республики Беларусь, МПК B22F1/00. Способ лазерного нагрева графитового порошка / Аршинов К.И., Бобровский В.В., Шедьков В.В., Крапивная О.Н., Линевич А.В.; заявитель и патентообладатель Гос.науч. учрежд. «Ин-т технич. акустики Нац. академии наук Беларуси».- № а20130659; заявл. 2013.05.24; опубл. 2016.06.30, Бюл.№ 3 (110).– С.78–79.
5. Tolochko N.K., Laoui T., Khlopkov Yu.V., Mozzharov S.E., Titov V.I., Ignatiev M.B. Absorptance of powder materials suitable for laser sintering // Rapid Prototyping J. -2000.– V.6, № 3.– P.155–160.
6. Толочко Н.К., Аршинов К.И., Ядройцев И.А., Савич В.В., Пилинович Л.П., Прежина Т.Е. Лазерная сварка пористых и компактных титановых элементов // Физика и химия обработки материалов. -2000.– №4.– С.75–78.
7. Толочко Н.К., Аршинов М.К., Аршинов К.И., Рагуля А.В. Лазерное спекание порошковых компактов SiO<sub>2</sub> // Порошковая металлургия. -2004.– №1–2.– С.12–19.
8. Патент RU №2196023 C2, МПК B22 F9/00. Способ лазерной обработки дисперсных материалов и устройство для его осуществления / Летфуллин Р.Р., Игошин В.И.; заявитель и патентообладатель Физический ин-т им.П.Н.Лебедева РАН. 10.01.2003
9. Чивель Ю.А. Конические лазерные пучки в селективной лазерной наплавке // Письма в ЖЭТФ. -2005.– Т.31, вып.1.– С.3–8.
10. Патент RU №2292989 C2, МПК B22 F9/00. Устройство для получения ультрадисперсных порошков / Чивель Ю.А.; заявитель и патентообладатель Гос.науч. учрежд. «Ин-т молекулярной и атомной физики НАН Беларуси». 10.02.2007
11. Методы расчета оптических квантовых генераторов / Под ред. Б.И.Степанова.- Минск: Наука и техника. - 1966.– Т.1.– 484 с.
12. Толочко Н.К., Мозжаров С.Е., Аршинов М.К., Аршинов К.И., Игнатъев М.Б. Лазерное спекание порошков при подаче непрерывного потока частиц в зону обработки // Физика и химия обработки материалов. -2003.– №5.– С.72–76.