

УДК 544.032.65

СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ МАКРОСФЕР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ КЕРАМИКИ

Чеботарев А.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., Синев Д.А. (Университет ИТМО)

В настоящей работе исследуется температурная динамика формирования тонкостенных макросфер из пористой керамики при лазерном воздействии. С помощью метода тепловизионного анализа были определены значения температурных порогов разрушения алюмосиликатных керамик, также было показано, что при образовании сфер существует пороговое значение температуры, превышение которого приводит к невозможности образования сфер. Изучена стабильность процесса формирования сфер, сформулированы предложения по решению проблематики, препятствующей использованию макросфер в качестве каркасов для элементов сферической оптики.

Введение. В 2016 году научным коллективом лаборатории Лазерных микро- и нанотехнологий Университета ИТМО было впервые показано, что при лазерной абляции влажной пористой керамики могут образоваться тонкостенные полые стеклянные макросферы диаметром до 7 мм. Образование сфер связано с выталкиванием расплавленной керамики из зоны воздействия давлением водных паров, которые находятся в порах керамического материала. Вытесненный расплав впоследствии застывает в виде тонкостенной сферы. К сожалению, до настоящего момента для этих сфер не было найдено практического применения, что связано с трудностями в управлении динамикой этого процесса.

Основная часть. Целью настоящей работы является изучение динамики процесса формирования стеклянных макросфер при влажной лазерной абляции керамики для рассмотрения возможности их применения в задачах формирования сферических оптических элементов, например, сферических дифракционных решеток и GRIN-линз. Если предположить, что макросферы могут быть применены как каркас для нанесения покрытий и создания сферических оптических элементов на их основе, то для их применения в данных технологиях нужно добиться высокой воспроизводимости результатов. Сложность поддержания воспроизводимости обусловлена следующими явлениями:

- Несоблюдение температурного режима при обработке;
- Неоднородность состава керамики и распределения вспомогательной жидкости в образце;
- Недостаточная или избыточная вязкость расплава керамики;
- Сложность управления размерами получаемых сфер;
- Механические дефекты сфер (кривизна, трещины и пр.);
- Оптические неоднородности сферы;
- Неровность образца, приводящая к дефокусировке излучения;
- Наличие примесей во вспомогательной жидкости;
- Возможная низкая адгезия покрытия к сфере.

Основным фактором из перечисленных выше является существенно сложная температурная динамика при образовании сфер. Таким образом, целью настоящей работы является изучение влияния температурной динамики на стабильность контролируемого формирования тонкостенных макросфер из влажной пористой керамики при лазерном воздействии.

Для проведения экспериментов и оценки результатов использовалось следующее оборудование:

1. Лазер ИЛМИ-1-50 ($\lambda = 1.070$ мкм, $\tau = 100$ нс, $f = 50-100$ кГц, $P=50$ Вт)
2. Сканаторная система и F-Theta объектив, поле обработки 50x50 мм (диаметр пятна 35 мкм в фокальной плоскости)

3. Тепловизионная камера FLIR Titanium 520M

4. Оптический микроскоп Zeiss Axio Imager A1.m

В качестве материалов исследования использовались образцы алюмосиликатных керамик. Первая серия экспериментов была проведена для изучения температурной динамики нагрева 5 образцов керамик. Было показано, что их теплофизические характеристики несколько варьируются в зависимости от состава, что очевидно повлияет на возможность образования сфер. По результатам микроскопии полученных кратеров были определены пороги разрушения керамик. В дальнейшем на образце, показавшем наибольшую склонность к образованию сфер, была проведена серия экспериментов по изучению температурной динамики образца в процессе воздействия. Полученные температурные зависимости позволили выявить, что сферы не образовывались, когда температура превышала 1300 градусов цельсия, что указывает на наличие критической температуры, которая ограничивает возможность формирования сфер. В третьей серии экспериментов образцы были погружены под тонкий слой воды (~1 мм), для определения влияния теплоотвода в жидкость на температурную динамику формирования сфер.

Выводы. В работе исследовано влияние порога разрушения керамики и температурного режима при её абляции на особенности формирования сфер при лазерной абляции. Определено, что для образования сфер подходят керамики с порогами разрушения от 1,2 до 3,2 ГВт/м². Рабочие режимы формирования сфер диаметрами от 1 до 5 мм составляют от 23,1 до 41,4 ГВт/м², от 5 до 10 секунд воздействия. Тепловизионная съемка процесса лазерной абляции керамик показала, что при образовании сфер существует некоторое пороговое значение температуры, превышение которого приводит к невозможности образования сфер. Значение этого порога по всей видимости зависит от параметров конкретной керамики. Выявлены и сформулированы основные положения существующей проблематики, решение которых необходимо для прикладного применения макросфер, к примеру, в качестве каркасов для элементов сферической оптики.

Чеботарев А.А.

Подпись

Синев Д.А.

Подпись