

А.Н. Сердюков, С.В. Шалупаев, Ю.В. Никитюк, А.А. Середа

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АСИММЕТРИЧНОГО ДВУЛУЧЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», ул. Советская, 104, 246019 Гомель, Беларусь
shalupaev@gsu.by*

Одним из важных направлений использования лазерного излучения в качестве технологического инструмента являются процессы лазерного термораскалывания [1-7]. В настоящее время наиболее эффективным методом разделения хрупких неметаллических материалов является управляемое лазерное термораскалывание. Отличительная особенность данного метода заключается в том, что разделение материала происходит вследствие образования трещины, формируемой в результате поверхностного нагрева материала лазерным излучением в сочетании с последующим охлаждением зоны нагрева хладагентом. К основным преимуществам УЛТ относятся высокая точность и безотходность разделения, а также высокая скорость обработки. В результате исследований по данной тематике был разработан целый ряд методов прецизионной лазерной обработки хрупких неметаллических материалов. К этим методам кроме управляемого лазерного термораскалывания относится и асимметричное лазерное термораскалывание.

Сущность метода асимметричного лазерного термораскалывания заключается в нагреве материала лазерным пучком эллиптического сечения, ориентированным под углом к направлению относительного перемещения. При этом образуется наклонная трещина со скругленными кромками. Известен вариант метода асимметричного термораскалывания, с использованием которого получают стеклопластины со сложным профилем края вследствие не только поворота луча к линии разделения, но и за счет смещения хладагента относительно линии воздействия лазерного излучения [3]. При этом для формирования асимметричного распределения термоупругих полей в образцах из силикатных стекол было использовано воздействие лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм, поглощаемое в тонких поверхностных слоях обрабатываемого материала. В данной работе авторы развили положительный опыт успешного применения двулучевых технологий лазерного термораскалывания силикатных стекол с использованием дополнительного воздействия лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм [4-5] для получения скругленных кромок стеклоизделий.

Экспериментальные исследования были выполнены на лазерном технологическом комплексе, в состав которого входят два лазера с различной длиной излучения. На рисунке 1 приведена схема расположения лазерных пучков и хладагента в плоскости обработки.

Позицией 1 отмечен лазерный пучок с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм, позиция 2 - лазерный пучок с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм, позиция 3 - зона подачи хладагента, позиция 4 – стеклянная пластина.

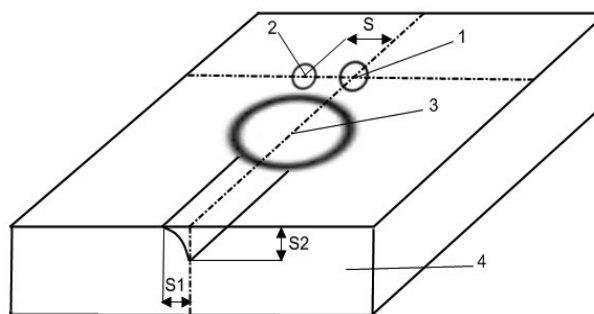


Рисунок 1 - Схема расположения лазерных пучков и хладагента в плоскости обработки
1- CO₂-лазер, 2 – YAG-лазер,
3 – хладагент, стеклянная пластина

Обрабатываемое изделие перемещалось с помощью координатного устройства относительно неподвижно расположенных лазерных пучков и форсунки, обеспечивающей подачу хладагента. В качестве образцов для

исследования режимов лазерного разделения были использованы пластины из силикатного стекла толщиной 5 мм. Геометрические параметры трещины S1 и S2 (см. рисунок 1) определялись с применением инструментального микроскопа БМИ-1Ц. Мощность лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм и энергия импульсного излучения с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм определялась прибором ИМО-2М. Расстояние S между центрами лазерных пучков изменялось от 0 до 3 мм. Лазерный пучок CO₂-лазера фокусировался на поверхности стекла в круглое пятно с радиусом равным 1,5 мм, а лазерный пучок YAG-лазера фокусировался на поверхности стекла в круглое пятно с радиусом равным 1 мм. Скорость относительного перемещения лазерных пучков и обрабатываемого материала задавалась программно.

В соответствии с разработанной схемой, представленной на рисунке 1, были выполнены экспериментальные исследования процесса двулучевого асимметричного термораскалывания. Основным отличием разработанной схемы получения наклонных лазерно-индуцированных трещин от уже известных схем является использование дополнительного воздействия лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм для создания асимметричного распределения термоупругих полей. При этом указанная выше асимметричность распределения термоупругих полей достигается за счет смещения центра пучка YAG-лазера относительно траектории перемещения центра пучка CO₂-лазера.

В ходе исследований была установлена зависимость отклонения трещины от линии обработки S1 от расстояния между центрами лазерных пучков S (см. рисунок 2). Как видно из рассмотрения рисунка 2 с увеличением расстояния S между центрами лазерных пучков увеличивается и отклонение трещины S1, при этом данная зависимость имеет линейный характер.

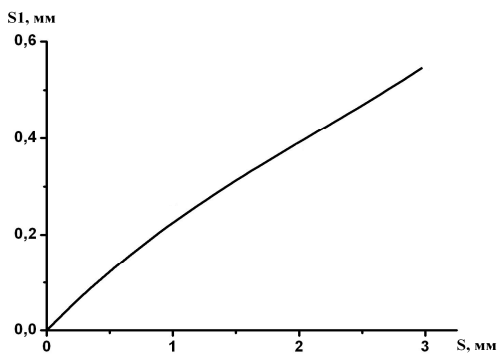


Рисунок 2 – Зависимость отклонения трещины от расстояния между центрами лазерных пучков

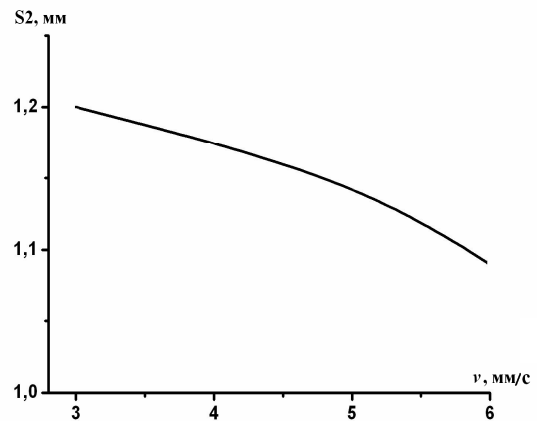


Рисунок 3 – Зависимость глубины трещины от скорости обработки

Нужно отметить, что в случае, когда расстояние между центрами лазерных пучков превышает радиус области воздействия хладагента инициализация и развитие наклонной трещины не наблюдается.

Так же были определены зависимости от скорости обработки глубины получаемых наклонных микротрещин S2 и их отклонения от линии обработки S1. Данные зависимости представлены на рисунках 3 и 4 соответственно. Как и следовало ожидать, с увеличением скорости наблюдается уменьшение, как S1, так и S2. Нужно отметить, что при выбранных параметрах обработки, при уменьшении скорости относительного перемещения лазерных пучков и обрабатываемой поверхности до значений меньших 3 мм/с, наблюдалось формирование сквозных наклонных трещин.

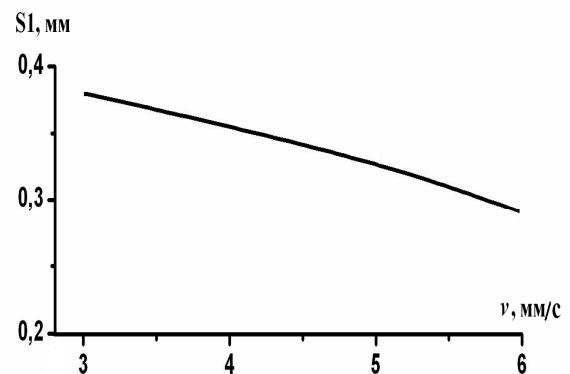


Рисунок 4 – Зависимость отклонения трещины от скорости обработки

Таким образом, в ходе проведенных экспериментальных исследований был разработан новый двулучевой способ формирования лазерно-индуцированных наклонных кромок и были выявлены зависимости геометрических характеристик получаемых трещин от параметров обработки. В целом проведенные исследования показали высокую эффективность двулучевой схемы формирования скругленных кромок при асимметричном лазерном термораскалывании силикатных стекол.

Литература

1. Lumley, R. M. Controlled separation of brittle materials used a laser / R. M. Lumley // J. Of the Amer. Cer. Soc. – 1968. – Vol. 49, № 9. – P. 850 – 854.
2. Мачулка, Г. А. Лазерная обработка стекла / Г. А. Мачулка. – М.: Сов. радио, 1979. – 136 с.
3. Способ резки неметаллических материалов: пат. 2024441 РФ, МКИ 5 С03В33/02 / В. С. Кондратенко; заявитель В. С. Кондратенко; заявл. 04.02.92; опубл. 12.15.94
4. Двухлучевое лазерное термораскалывание хрупких неметаллических материалов / С. В. Шалупаев, Е. Б. Шершнева, Ю. В. Никитюк, А. А. Середина // Оптический журнал. – 2005. – Т. 73, № 5. – С. 62 – 66.
5. Лазерное термораскалывание хрупких неметаллических материалов по замкнутым криволинейным контурам / С. В. Шалупаев, Ю. В. Никитюк, А. А. Середина // Оптический журнал. – 2008. – Т. 75, № 2. – С. 11 – 15.
6. Увеличение эффективности управляемого лазерного термораскалывания диэлектрических материалов / В. К. Сыроев [и др.] // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71, № 2. – С. 65 – 69.
7. Jiao, J. Cutting glass substrates with dual-laser beams / J. Jiao, X. Wang // Optics and Lasers in Engineering. – 2009. – Vol. 47. – P. 860 – 864.