

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Болгарская Академия наук
ООО «Научно исследовательское предприятие «Лазерные технологии»

ИННОВАТИКА-2018

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XIV Международной школы-конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
26–27 апреля 2018 г.
г. Томск, Россия**

Под редакцией А.Н. Солдатова, С.Л. Минькова

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2018

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ СТЕКЛА МНОГОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРОМ НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ

В.Ю. Юрин¹, А.С. Шумейко^{1,2}, А.Н. Солдатов²

¹ООО «Научно исследовательское предприятие Лазерные технологии»

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
vova17.1993@bk.ru

THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESSES OF LASER CUTTING OF GLASS WITH MULTI-WAVE RADIATION OF STRONTIUM VAPOR LASER

V.Yu. Yurin¹, A.S. Shumeiko^{1,2}, A.N. Soldatov²

¹LLC «Scientific Research Enterprise Laser Technologies»

²National Research Tomsk State University

Multi-wave glass cutting is based on the simultaneous effect of laser radiation of different wavelengths on the glass. Moreover, glasses, different chemical compositions, have different optical properties, different spectrum of radiation absorption. Due to the simultaneous generation of a strontium vapor laser at 8 wavelengths in the region of 1, 3, and 6.45 μm , the radiation penetrates into the different thickness of the glass, depending on the absorption spectrum and heats the material throughout the thickness of the material.

Keywords: multi-wave laser cutting of glass, Sr laser, glass cutting, cleavage glass.

Многоволновая резка стекла базируется на одновременном воздействии лазерного излучения разных длин волн на стекло. Причем стекла, отличающиеся химическими составами, имеют разные оптические свойства, разный спектр поглощения излучения. Благодаря одновременной генерации лазера на парах стронция на 8 длинах волн в области 1, 3, и 6,45 мкм, излучение проникает на разную толщину стекла, в зависимости от спектра поглощения и осуществляет нагрев материала по всей толщине материала. Кроме того, благодаря расходимости лазерного излучения, близкой к дифракционной, излучение можно сфокусировать в пятно малых размеров, что позволяет получить большую плотность мощности при относительно небольшой мощности самого лазера, а также позволяет обрабатывать материалы малых размеров.

На рисунке 1 представлены спектры поглощения лазерного излучения некоторыми стеклами, используемыми в различных отраслях промышленности. Кодовые обозначения стекол: «Самсунг» – стекла, присланные компанией «Samsung», которые используются в качестве экранов смартфонов, «Круглое», «Гонкое» – стекла присланные компанией

«НПП ИНЖЕКТ», г. Саратов, данные стекла используются при создании оптических компонент.

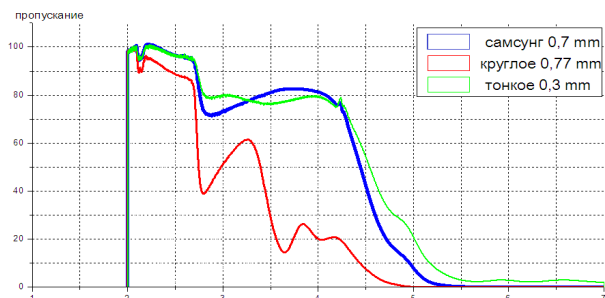


Рис. 1. Спектры пропускания различных стекол, используемых в различных отраслях промышленности

Расходимость излучения лазера на парах стронция является максимально приближенной к дифракционной, при использовании неустойчивого резонатора телескопического типа. Диаметр фокального пятна прямо пропорционально зависит от длины волны. Таким образом, чем меньше длина волны, тем меньше диаметр ее фокусного пятна[1]. Учитывая спектр пропускания стекла (не все длины волн воздействуют на стекло по всей его толщине) разделим стекло на тепловые зоны.

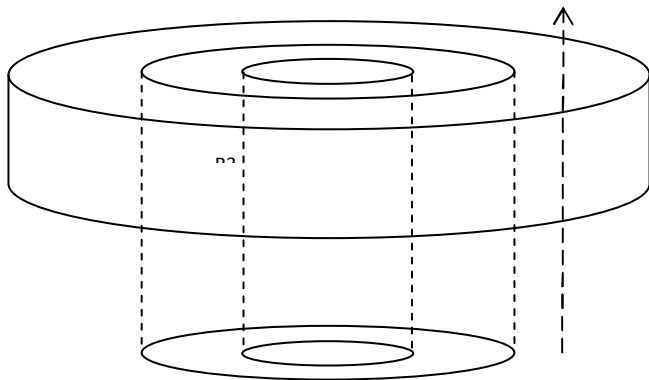


Рис. 2. Тепловые цилиндрические зоны стекла

Исходя из диаметра фокусных пятен и спектра пропускания стекла, определяем объем и массу участков стекла, которые нагреваются под действием многоволнового излучения.

Для каждой зоны стекла отдельно рассчитываем температуры нагрева за один импульс лазерного излучения.

Процесс переноса теплоты теплопроводностью зависит от температурного поля, которое является нестационарным и может быть выражено функцией $t = f(x, y, z, \tau)$ где: x, y, z – координаты точки, имеющей температуру t ; τ – продолжительность процесса.

Так как стекло поделено на несколько тепловых зон, которые имеют формы цилиндра (рисунок 2), при выводе формул теплообмена для цилиндрических участков приходится учитывать, что по мере удаления от оси размеры цилиндрической поверхности увеличиваются, плотность теплового потока q будет уменьшаться, т.е. последняя является величиной переменной, зависящей от радиуса цилиндра. Поэтому при выводе формул, позволяющих рассчитать тепловые потери через цилиндрические зоны, будем использовать понятие погонной плотности теплового потока, т.е. теплового потока, приходящегося на единицу длины стенки. Нагреваемое или охлаждаемое тело может быть принято, как неограниченный цилиндр, если его длина превосходит диаметр минимум в 3,5 раза.

Для решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье используют граничные условия I, II, III и IV рода. Граничные условия I рода устанавливают связь между распределением температуры на поверхности тела и временем. Граничные условия II рода задают распределение плотности теплового потока на поверхности тела как функцию координат и времени. Граничные условия III рода устанавливают зависимость плотности теплового потока вследствие теплопроводности тела от температуры поверхности тела и окружающей среды

Если фокальное пятно лазерного излучения перемещается по поверхности с постоянной скоростью, то после некоторого периода времени, длительность которого зависит от свойств стекла, устанавливается квазистационарное состояние, при котором нагретая зона постоянного размера перемещается вместе с лазерным лучом. Температура стекла не должна превышать температуру плавления.

Неравномерный нагрев стекла приводит к возникновению термических напряжений, определяемых выражением Дюгамеля-Неймана [2]. Существует два условия равновесия тела: при постоянной температуре тела и действии объёмных сил, при неравномерной температуре тела и

отсутствии объёмных сил. Таким образом, температурные напряжения состоят из двух составляющих. Первая часть определяется градиентом температурного поля, а вторая часть определяется отличием температуры тела от его начальной температуры. В работе [3] показано возникновение термических напряжений в стекле под действием лазерного излучения, и последующем охлаждении зоны воздействия при помощи хладагента. При нагреве лазерным лучом, в стекле возникают напряжения сжатия, а при резком охлаждении – напряжения растяжения. Но напряжения растяжения могут возникать и при отсутствии хладагента, посредством постепенного остывания материала, за счет теплообмена и теплопередачи, в данном случае напряжения растяжения будут гораздо меньше, но в ряде случаев даже их может хватить для раскола стекла. Поскольку, в стекле предел прочности на сжатие в несколько раз больше, чем предел прочности на растяжение, то при применении хладагента, возможно снизить мощность лазерного излучения, либо увеличить скорость резки.

Исходя из расчетов, проделанных в данной работе, мы получили набор характеристик лазерного излучения и системы фокусировки, достаточные для раскола силикатных стекол, толщиной до 1 мм. Исходя из данных исследований, была собрана установка для проведения экспериментов и отработки технологии многоволновой лазерной резки силикатных стекол толщиной до 1 мм. Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Литература

1. Юрин В.Ю. Многоволновая лазерная резка стекла при помощи лазера на парах стронция : магистерская диссертация по направлению подготовки: 27.04.05 – Инноватика. – Томск : [б.и.], 2017. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:5974>.
2. Новацкий В. Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.
3. Разработка технологии лазерного управляемого термораскалывания плоских дисплейных панелей / В.С. Кондратенко [и др.] // Приборы. – 2005. – № 4 (58).