

Лазерная резка силикатного стекла

*Кузнецова Екатерина Александровна
Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана
к.ф.-м.н., доцент кафедры физики*

Аннотация

В данной работе представлены материалы исследования зависимости оптимального размера лазерного пятна на поверхности силикатного стекла при лазерной сквозной резке методом термораскалывания на лазерном комплексе, содержащем иттербиевый волоконный лазер и робот-манипулятор. Получена линейная зависимость размера пятна от толщины стекла. При этом показано, что диаметр пятна должен быть равен или больше толщины стекла.

Ключевые слова: резка стекла, лазер, размер пятна.

Laser cutting of silicate glass

*Kuznetsova Ekaterina Alexandrovna
Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch)
Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of
Department of Physics*

Abstract

In this paper, we present study of the dependence on the optimum size of a laser spot at a silicate glass during laser cutting by the method of thermal splitting. The cutting was carried out on a laser complex containing an ytterbium fiber laser and a robot manipulator. A linear dependence of the spot size on the thickness of the glass is obtained. It was shown that the diameter of the spot should be equal to or greater than the thickness of the glass.

Keywords: glass cutting, laser, spot size.

Механическая резка плоского стекла роликами из твёрдых сплавов на двухкоординатных столах и гнutoго крупногабаритного стекла стеклорезами давно уже не удовлетворяет постоянно растущими требованиями к качеству, конструкционным и эксплуатационным параметрам прецизионных изделий из стекла и других хрупких неметаллических материалов, используемых в изделиях конструкционной оптики для летательных аппаратов: фонарях самолётов, окнах вертолётов, космических и подводных аппаратов и т.п. Существующие технологии процессов обработки стекла являются несовершенными, потому что используется большое количество трудоемких ручных операций, что ведет к низкому качеству стеклоизделий и невысокому проценту выхода годных изделий. Вопрос о разработке и внедрении в

производство новейших технологий обработки стекла в эпоху бурного развития авиационной и космической техники стал особенно актуальным. В последнее время различными научно-производственными группами были разработаны несколько альтернативных методов резки силикатных стёкол – гидроабразивный, электронагревный, лазерный.

Наиболее перспективным из них является лазерная резка, так как имеет целый ряд неоспоримых достоинств. Основные из них следующие:

- отсутствие механического воздействия на стекло;
- отсутствие отходов стекла при его разделении;
- возможность исключения операций шлифовки и полировки торцов, что значительно сокращает стоимость обработки стекла;
- повышение прочности торцов стеклоизделий вследствие отсутствия микротрещин;
- увеличение точности и воспроизводимости размеров вырезаемых деталей;
- возможность образования сквозной трещины, т.е. исключение операции доламывания;
- возможность полной автоматизации процесса резки;
- возможность резки тонких и толстых материалов (0.1 – 40 мм);
- значительное уменьшение вероятности образования;
- несанкционированных трещин при резке крупногабаритных;
- 3D-стеклоизделий, т.е. уменьшение процента брака при вырезке стеклоизделия.

В России основы лазерной резки стекла были заложены Г.А. Мачулкой [1], В.Ф. Солиновым [2], В.С. Кондратенко [3] и др. советскими учёными.

По физическому воздействию на материал лазерную резку стекла можно разделить на два способа: скрайбирование (абляция) и термораскалывание. Первый способ основан на том, что под действием лазерного излучения происходит местное расплавление стекла, испарение некоторых его компонентов.

Другой разновидностью лазерной резки стекла является лазерное управляемое термораскалывание. Производя относительное перемещение луча и материала, можно получить трещину в стекле, которая, следуя за лучом, разделяет заготовку на части. Материал разделяется без всякого удаления вещества, то есть лазерное термораскалывание является безотходным методом резки. Суть его в том, что при поглощении лазерного излучения в стекле образуются горячие и холодные участки. Горячие стремятся расширяться за счёт теплового расширения, а холодные препятствуют этому. В стекле возникают растягивающие напряжения, и когда их величина превысит прочность стекла, то оно раскалывается в месте воздействия лазерного луча. Поскольку происходит относительное движение стекла и луча, то трещина продолжает развиваться вслед за лазерным лучом. Перемещая точку воздействия лазерного луча кареткой двухкоординатного стола (для плоских стёкол) или роботом-манипулятором (для гнутых стёкол)

по заранее заданной траектории, можно вырезать из стекла фигуры произвольной формы.

Способ термораскалывания силикатного стекла делится на два типа. В первом используется лазер, излучение которого полностью поглощается (за исключением отражённой части) в приповерхностном слое стекла (например, излучение CO_2 – лазера). При этом образуется несквозная трещина глубиной 100 - 300 мкм. После этого необходимо проводить механическое воздействие – доламывание.

Во втором способе используются лазеры, длина волны которых лежит в области прозрачности стекла (например, неодимовые или иттербиевые лазеры). При этом их излучение проходит сквозь всю толщину стекла. Даже небольшого поглощения при большой мощности излучения достаточно, чтобы образовать сквозную трещину и в итоге вырезать стекло без доламывания.

Лазерная резка силикатного стекла и других прозрачных и непрозрачных хрупких неметаллических материалов значительно увеличивает возможности технологии по созданию новейших летательных аппаратов. Важное значение при лазерной резке стекла методом термораскалывания имеет правильный выбор размера лазерного пятна на стекле. Мы сейчас рассмотрим вариант с круглой формой пятна и будем задавать его размеры только одним параметром – диаметром. Многие исследователи предпочитают использовать овальную форму пятна. Однако, когда речь идёт о резке крупногабаритных гнутых стёкол сложной формы, то на радиусных участках траектории реза возникают трудности с установлением правильной ориентации линии большего размера овального пятна относительно линии траектории реза. Трудности значительно возрастают, если радиусный участок попадает в область кривизны поверхности стекла, к тому же если при этом надо вращать вокруг лазерного пятна ещё и пятно струи хладагента.

Как отмечалось ранними исследованиями [3], поперечный размер лазерного пятна (в нашем случае - его диаметр) сравним с толщиной стекла.

Однако, теоретические расчёты [4] показали, что при одной и той же мощности лазерного пучка величина растягивающих напряжений в стекле (которые и являются причиной образования разделяющей трещины в стекле) значительно возрастают с уменьшением размеров пятна.

Мы провели исследования по определению оптимального размера лазерного пятна при лазерной резке силикатного стекла методом термораскалывания. Результат приведен на графике (рис 1). Исследования проводились на установке, приведенной на рис 2. Излучение волноводного иттербиевого лазера по оптоволоконному кабелю подавалось к объективу, закреплённому на выходном звене робота-манипулятора немецкой фирмы «КУКА». Робот перемещал с задаваемой скоростью пятно лазерного луча по поверхности стекла, создавая сквозной рез. Изменением скорости перемещения пятна определялся оптимальный режим резки. Из объектива

выходил расходящийся пучок лазерного излучения. Поэтому диаметр пятна на стекле задавался расстоянием от объектива до поверхности стекла.

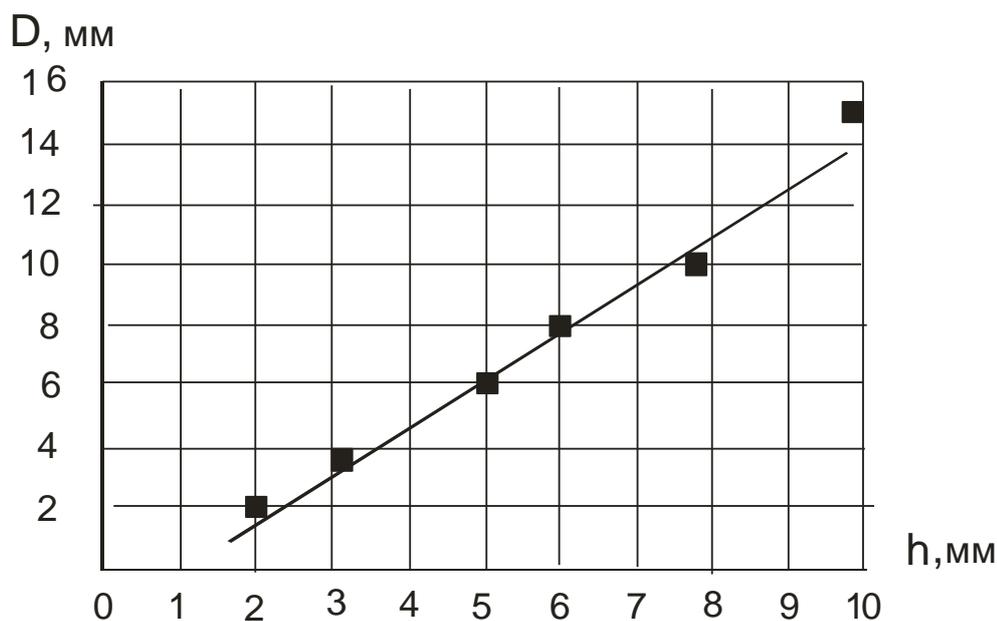


Рис 1. Зависимость оптимального диаметра лазерного пятна на стекле D от толщины стекла h



Рис 2. Роботизированный комплекс лазерной резки стекла

Эксперимент проводился следующим образом. При заданной средней мощности (500 Вт) лазерного излучения непрерывного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1,065 мкм проводилась резка силикатных стёкол марки optic white различной толщины методом сквозного управляемого термораскалывания. При выбранной толщине стекла

изменялся диаметр лазерного пятна и проходил диапазон скоростей реза. При большом пятне ($D \gg h$) плотность мощности излучения на стекле была недостаточной для возникновения трещины и реза не происходило. По мере уменьшения диаметра лазерного пятна плотность мощности возрастала, появлялась сквозная трещина, скорость реза возрастала. Затем, начиная с диаметра пятна, близкого по величине к толщине стекла, лазерный рез становился устойчивым, трещина отставала от лазерного пятна на 10-20 мм. При дальнейшем уменьшении пятна ($h > D$) из-за большой плотности мощности происходил перегрев и стекло разрушалось. Середина диапазона диаметров, при которых происходил лазерный рез, наносилась точкой на графике. Затем резалось следующее по толщине стекло и процедура повторялась. Наилучшее значение диаметра пятна наносилось на график (рис.1). Из рисунка видно, что зависимость оптимального диаметра лазерного пятна от толщины стекла представляет собой линию, близкую к прямой.

Таким образом, экспериментально было подтверждено, что размер лазерного пятна на поверхности силикатного стекла при лазерной резке его методом сквозного термораскалывания зависит от толщины стекла по линейному закону и равен либо превышает толщину стекла.

Библиографический список

1. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. М.: Радио и связь, 1979, 136 с.
2. Солинов В.Ф., Ревенко В.И., Солинов Е.Ф., Муравьев Э.Н., Курчатov И.С., Кустов М.Е., Бучанов В.В., Товмасын В.М. Способ лазерной резки стекла. Патент РФ № 2574634 от 13.05.2014г., МПК С03В 33/09.
3. Кондратенко В.С. Лазерное управляемое термораскалывание хрупких материалов. М., МГУПИ, 2007, 191 с.
4. Конструкционная оптика / Под редакцией д.т.н., проф. В.Ф.Солинова. М., 2017. 284 с.