

УДК 67.02

DOI: 10.12737/article_5a313b650da070.69097320

И.Е. Малов, к.т.н.

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5)

E-mail: ltrp@rambler.ru

Исследование применимости технологии лазерного управляемого термораскалывания для изготовления элементов термооптического покрытия радиаторов космических аппаратов

Проведены исследования влияния параметров лазерного излучения на качество торцевых поверхностей стеклянных элементов термооптического покрытия радиаторов космических аппаратов, получаемых методом управляемого термораскалывания. Показано существенное повышение качества поверхностей раздела при использовании метода сквозного управляемого термораскалывания.

Ключевые слова: термораскалывание; точность разделения; шероховатость; лазер.

I.E Malov, Can. Eng.

(FSBEI HE Bauman STU of Moscow, 5, 2-d Baumanskaya Str., Moscow 105005)

Applicability investigations of laser-controlled thermo-splitting technology for manufacturing elements of thermo-optical coating for spacecraft radiators

In view of a responsible destination and hard operation conditions strong technical requirements are made to glass elements of a thermo-optical coating for spacecraft radiators where a basic requirement of them is absence of chips and micro-cracks. There are carried out investigations of the influence of laser radiation parameters upon end face quality in the in glass element obtained through the method of controlled thermo-splitting. A quality considerable increase is shown in the surfaces of division at the use of the method of the end-to-end laser controlled thermo-splitting in comparison with the methods of part-through laser controlled thermo-splitting and scribing with a diamond cutter with the further after-break.

Keywords: thermo-splitting; division accuracy; roughness; laser.

Современная промышленность в России и мире все более становится инновационной, происходит быстрое переоснащение производства высокопроизводительным оборудованием основанном на использовании последних научных достижений, включая и лазерные технологии.

Лазеры достаточно широко представлены в современных промышленных технологиях. Они применяются практически во всех значимых областях современной промышленности, от простейших деталей и раскроя бумажной

упаковки до самых современных применений в медицине и космической промышленности. Применение высокоэффективных лазерных технологий в обработке материалов позволяет повысить точность и качество получаемых изделий недостижимыми другими методами обработки.

В настоящее время успешно развиваются нанотехнологии и общая миниатюризация промышленных изделий, в том числе и в космической промышленности. Проектанты и конструктора летательных и космических ап-

паратов постоянно стремятся уменьшать размеры и вес служебной аппаратуры с целью увеличения массы полезной нагрузки, увеличения качества и надежности космической техники.

Появляются новые конструкторские решения, элементная база, конструкционные материалы. В космических аппаратах все в большем масштабе применяются приборы и узлы (оптические приборы, дисплеи, микроэлектронные сборки на основе сапфира, термооптическое покрытие и многое другое), содержащие хрупкие неметаллические материалы. Одним из таких материалов является стекло. Это обусловлено его уникальными свойствами: электроизоляционными, вакуумными, теплоизоляционными, прозрачностью в широком диапазоне спектра, достаточной прочностью, стойкостью против воздействия окружающей среды и многих химически активных сред, технологичностью, позволяющей относительно простыми средствами изготавливать детали самой различной формы и назначения [1 – 3].

Одной из актуальных задач в космической промышленности является изготовление термооптического покрытия радиаторов космических аппаратов, собираемых из отдельных стеклянных пластин размером $40 \times 40 \times 0,17$ мм. В связи с ответственным назначением и тяжелыми условиями эксплуатации (температура от -150 до $+150$ °С; радиация 10 рад; вакуум $1,3 \cdot 10^{-4}$ Па; ударные нагрузки и вибрации), к пластинам предъявляются высокие технические требования: предельные отклонения размеров $\pm 0,1$ мм, шероховатость Ra не более 1,3 мкм, отсутствие сколов и микротрещин.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество контактных и бесконтактных способов разделения стеклянных изделий. К контактным методам, которые используют механическое воздействие на стекло, относят: резку алмазными пилами, скрайбирование алмазными резцами, гидроабразивную, пескоструйную резку. К бесконтактным методам можно отнести: лазерную резку, лазерное скрайбирование, лазерное термораскалывание, разделение с использованием нелазерных источников нагрева (мощные лампы, газовые горелки, электронагреватели и т.д.). Эти методы характерны тем, что разделение осуществляется посредством теплового воздействия на стекло.

В последнее время разрабатываются и применяются гибридные методы разделки стекла, с использованием нескольких различных ме-

тодов обработки, например гидролазерная резка, лазерное скрайбирование с последующим механическим доколом, лазерно-ультразвуковая резка и некоторые другие, более редкие способы.

Далеко не каждый из перечисленных методов способен обеспечить выполнение технических требований предъявляемых к стеклянным элементам термооптического покрытия космических аппаратов. Наиболее перспективным методом для решения задачи размерной обработки данных изделий, является управляемое лазерное термораскалывание. Данный метод применим для размерной обработки не только стекла, но и таких хрупких неметаллических материалов, как сапфир, различные типы керамики и др.

Данный метод обладает рядом достоинств в сравнении с другими известными способами обработки: высокая точность при размерной обработке, низкая энергоемкость процесса, высокая чистота, основанная на безотходности процесса разделения, нулевая ширина реза, высокое качество кромок (отсутствие сколов и микротрещин), повышение в несколько раз механической прочности получаемых изделий.

Метод управляемого лазерного термораскалывания (УЛТ) заключается в том, что разделение материала происходит за счет образования разделяющей трещины под действием напряжений растяжения, возникающих при нагреве материала лазерным излучением и последующем охлаждении зоны нагрева, т.е. при наличии высокого температурного градиента.

Под действием лазерного излучения на стеклянное изделие и последующее его охлаждение в стекле возникают термонапряжения, состоящие из продольной σ_x , поперечной σ_y и глубинной σ_z составляющих. Разделение стекла вдоль направления движения лазерного луча происходит под действием поперечной составляющей σ_y , так как в процессе перемещения лазерного луча поперечные составляющие складываются, образуя поперечное усилие, в результате которого, при превышении предела прочности стекла, образуется разделяющая трещина.

Необходимым условием качественного термораскалывания является значительный уровень поперечной составляющей напряжений, что обеспечивается эллипсоидной формой сечения лазерного луча и перемещением его по линии разделения (рис. 1).

Управление разделяющей трещиной осуществляется перемещением лазерного луча

вдоль поверхности образца. Луч создаёт в нём такое распределение напряжений, при котором трещина распространяется по траектории, пройденной лучом, отставая от него на некоторое расстояние. В результате стекло разделяется по описываемому лазерным лучом контуру. Температура, при которой возможно зарождение трещины должна превышать предел термостойкости стекла, но не доходить до температуры стеклования.

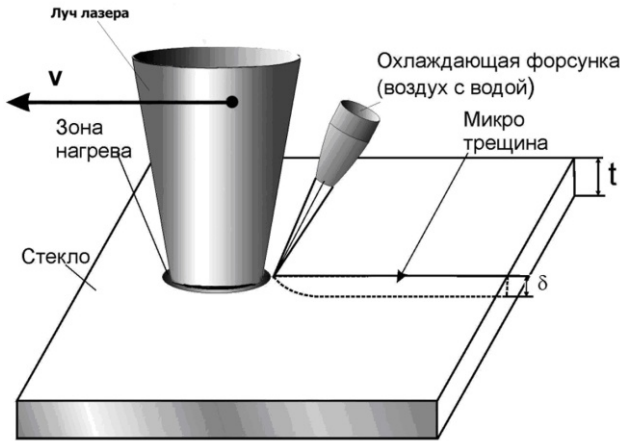


Рис. 1. Схема процесса управляемого лазерного термораскалывания

Для создания более высокого температурного градиента можно использовать хладагент, подаваемый вслед движущемуся по поверхности стекла лазерному лучу. Существующие технологии УЛТ основаны на применении излучения CO_2 ($\lambda = 10,6$ мкм) и Nd:Yag ($\lambda = 1,06$ мкм) лазеров и позволяют успешно разделять как очень тонкие (50 мкм), так и очень толстые (более 20 мм) стекла и изготавливать высокопрочные, достаточно точные (для размерной обработки) изделия [4, 5].

Чтобы оценить возможность применения технологии управляемого лазерного термораскалывания для изготовления элементов термооптического покрытия радиаторов космических аппаратов были проведены исследования на лабораторной установке оснащённой CO_2 лазером мощностью 50 Вт.

Основными варьируемыми параметрами являлись: длина эллиптического лазерного пятна, мощность лазерного излучения и скорость обработки. Результаты экспериментов представлены в виде графиков на рис. 2. Из графиков видно, что для обработки стекла толщиной 0,17 мм варьировать эти параметры можно в очень небольших пределах.

Наименьшая шероховатость реза получает-

ся на скорости 110 мм/с при длине эллиптического пятна 7 мм (кривая – Пучок 3, рис. 2). При длине пятна 6 мм (кривая – Пучок 2) наименьшая шероховатость получается выше, и при длине пятна 5 мм (кривая – Пучок 1) наименьшая шероховатость достигается при скорости разделения 120 мм/с и имеет максимальное значение.

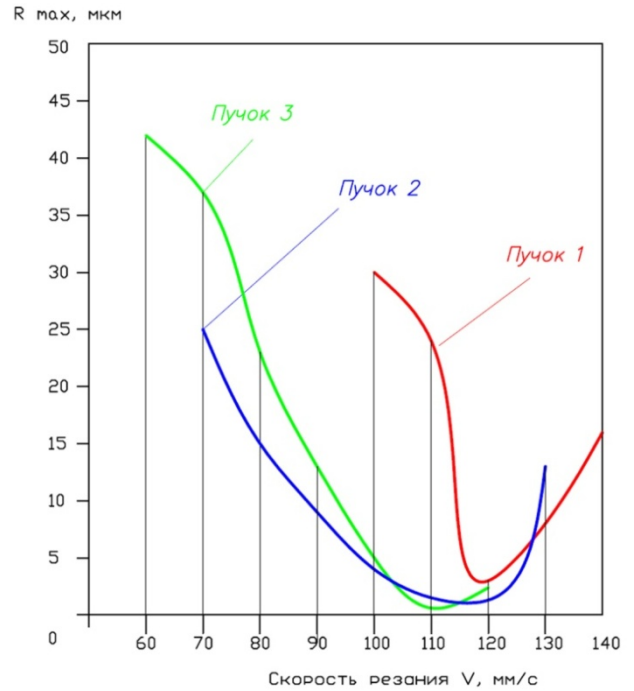


Рис. 2. Зависимость R_{max} от скорости резания и формы пучка при мощности лазерного луча 45Вт

Поскольку качество торцов исследуемых изделий является одним из важнейших факторов, обеспечивающих прочность изделия в целом, результаты размерной обработки методом сквозного лазерного управляемого термораскалывания были сопоставлены с результатами разделения такими методами, как несквозное лазерное управляемое термораскалывание с последующим доломом и скрайбирование алмазным резцом с последующим доломом.

Определение качества торцов стекол, разделенных различными методами, осуществлялось в ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», на кафедре «Измерительных информационных систем и технологий». Измерения проводились контактным методом, на профилометре-профилографе мод. 252, производства завода «Калибр».

Результаты измерений представлены на рис. 3–5. Из представленных данных видно, что наименьшей шероховатостью обладают образцы, полученные методом сквозного лазерного управляемого термораскалывания.

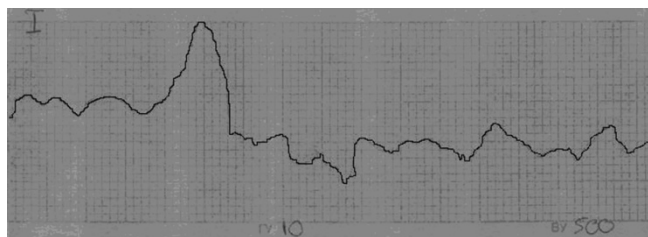


Рис. 3. Профиль поверхности разделения после алмазного скрайбирования с последующим доломом

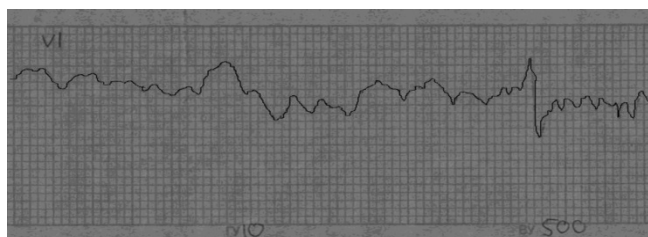


Рис. 4. Профиль поверхности разделения после несквозного лазерного управляемого термораскалывания с последующим доломом

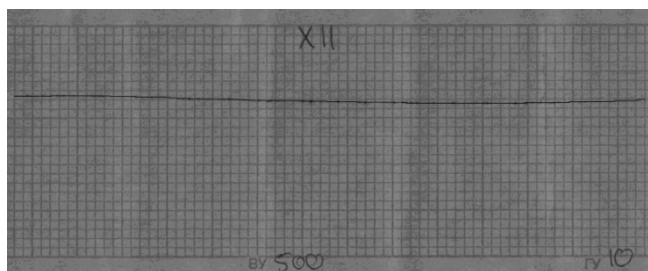


Рис. 5. Профиль поверхности разделения после сквозного лазерного управляемого термораскалывания

Значения шероховатости Ra и R_{max} , приведены в табл. 1:

Таблица шероховатости торцов стеклянных образцов

Способ разделения	Ra , мкм	R_{max} , мкм
Алмазное скрайбирование с последующим доломом	11	39
Несквозное лазерное управляемое термораскалывание с последующим доломом	1,3	4,7
Сквозное лазерное управляемое термораскалывание	0,053	0,15

Метод сквозного лазерного управляемого термораскалывания позволяет на несколько порядков уменьшить шероховатость поверхностей разделения, что, в свою очередь, положительно сказывается на прочности получаемых изделий, их виброустойчивости, а также позволяет отказаться от последующих операций обработки кромок.

Кроме того стекла, разделённые данным методом, имеют более аккуратные кромки, что позволяет укладывать их плотнее.

В космической промышленности, где большую цену имеет буквально каждый лишний грамм и миллиметр, выведенный в космос, это является важным преимуществом перед другими методами обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мачулка, Г.А. Лазерная обработка стекла // М.: Советское Радио. – 1979. – С.136.
2. Григорьянц, А.Г., Шиганов, И.Н., Мисюрлов, А.И. Технологические процессы лазерной обработки // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2006. – 664 С.
3. Стекло: справочник; под ред. Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат. – 1973. – 487 С.
4. Сысоев, В.К., Булкин, Ю.Н., Вятлев, П.А., Захарченко, А.В. Выбор оптимального лазерного источника для управляемого термораскалывания оксидных стекол // Стекло и Керамика. – 2007. – № 6. – С. 3–6.
5. Сысоев, В.К., Вятлев, П.А. Технологические характеристики процесса лазерного термораскалывания // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2008. – Т.51, № 4. – С. 48–50.

REFERENCES

1. Machulka, G.A. Glass laser processing // М.: Soviet Radio. – 1979. – pp. 136.
2. Grigoriyants, A.G., Shiganov, I.N., Misyurov, A.I. *Engineering Procedures of Laser Processing* // М.: Bauman STU Publishers. – 2006. – pp. 664.
3. *Glass: reference book*: under the editorship of N.M. Pavlushkin. – М.: Stroyizdat. – 1973. – pp. 487.
4. Sysoiev, V.K., Bulkin, Yu.N., Vyatlev, P.A. Zakharchenko, A.V. Choice of optimum laser source for oxide glass controlled thermo-splitting // Glass and Ceramics. – 2007. – No.6. – pp. 3-6.
5. Sysoiev, V.K., Vyatlev, P.A. Processing characteristics of laser thermo-splitting process // *College Proceedings. Instrument Engineering*. – 2008. – Vol., No.4. – pp. 48-50.

Рецензент д.т.н. И.Н. Шиганов