

УДК 621.373.826

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ СТЕКЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Е.Б. ШЕРШНЕВ, кандидат технических наук, доцент
В.В. СВИРИДОВА, кандидат физико-математических наук, доцент
С.И. СОКОЛОВ

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Беларусь

В работе проведены исследования по влиянию предварительного нагрева стеклоработки на процесс лазерного управляемого термораскалывания. Исследовано влияние повторного нагрева линии реза лазерным излучением на глубину разделяющей микротрещины.

Ключевые слова: термораскалывание, микротрещина, нагрев, лазерное излучение.

Введение. Стекло – один из наиболее распространенных материалов, широко используемых практически во всех областях человеческой деятельности. Это обусловлено его уникальными свойствами: прозрачностью в видимом диапазоне спектра, достаточной прочностью и возможностью использования в качестве конструкционного материала, стойкостью против воздействия окружающей среды и многих агрессивных сред. Проблема высокоточной резки стеклоизделий становится особенно актуальной с освоением и расширением массового выпуска новых приборов, например, ряда электровакуумных приборов, электронно-оптических преобразователей, в конструкции которых используются стеклянные изделия с высокими требованиями к геометрической точности и качеству торцевой поверхности. Наиболее эффективным методом высокоточной резки стекла является метод лазерного управляемого термораскалывания [1]. В настоящее время производительность процесса термораскалывания стекла имеет ряд существенных ограничений, к которым относятся скорость термораскалывания и глубина разделяющей микротрещины.

Постановка задачи. Механизм образования разделяющей микротрещины при лазерном управляемом термораскалывании листового стекла заключается в

следующем. При облучении поверхности стекла лазерным излучением инфракрасного диапазона во внешних его слоях возникают значительные напряжения сжатия, которые к разрушению не приводят. При выходе нагретого участка из зоны воздействия лазерного излучения начинается охлаждение поверхностных слоев стекла. При подаче воздушно-водяной смеси вслед за лазерным пучком происходит резкое локальное охлаждение поверхности стекла по линии реза. Создаваемый градиент температур обуславливает возникновение в поверхностных слоях стекла напряжений растяжения, превышающих предел прочности стекла, которые приводят к образованию микротрещины, проникающей вглубь стекла до внутренних прогретых слоев, испытывающих напряжения сжатия. Таким образом, в стекле на границе зон нагрева и охлаждения, то есть в месте максимального градиента температур «нагрев – охлаждение», образуется микротрещина, глубина которой определяется распределением термоупругих напряжений, зависящих от целого ряда факторов (рисунок 1б).

К числу факторов, имеющих первостепенное значение для процесса лазерного управляемого термораскалывания, следует отнести:

- параметры лазерного пучка, а именно: плотность мощности лазерного излучения, размеры и форма лазерного пучка на поверхности разделяемого материала;
- скорость относительного перемещения лазерного пучка и материала;
- теплофизические свойства, количество и условия подачи хладагента в зону нагрева;
- теплофизические и механические свойства разделяемого материала, его толщина и состояние поверхности.

Целью настоящего исследования является повышение производительности процесса лазерного управляемого термораскалывания стекла за счет увеличения скорости термораскалывания и глубины разделяющей микротрещины.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проведены на базе лазерного комплекса[2]. Общий вид комплекса представлен на рисунке 1(а). Для проведения экспериментальных исследований была осуществлена доработка данного комплекса к условиям термораскалывания с предварительным объемным нагревом стеклянной заготовки до заданной температуры. Технические характеристики комплекса:

длина волны излучения CO_2 – 10.6 мкм;
средняя мощность излучения в непрерывном режиме – не менее 60 Вт;
рабочий ход по оси X – 500 мм;
рабочий ход по оси Y – 500 мм;
минимальный шаг – 0.01 мм;
точность нанесения микротрещины – 0.15 мм;
размер обрабатываемых пластин – 500x500 мм;
разворот пластины по углу – 360 °;
температура нагрева заготовки – до 120 °С.

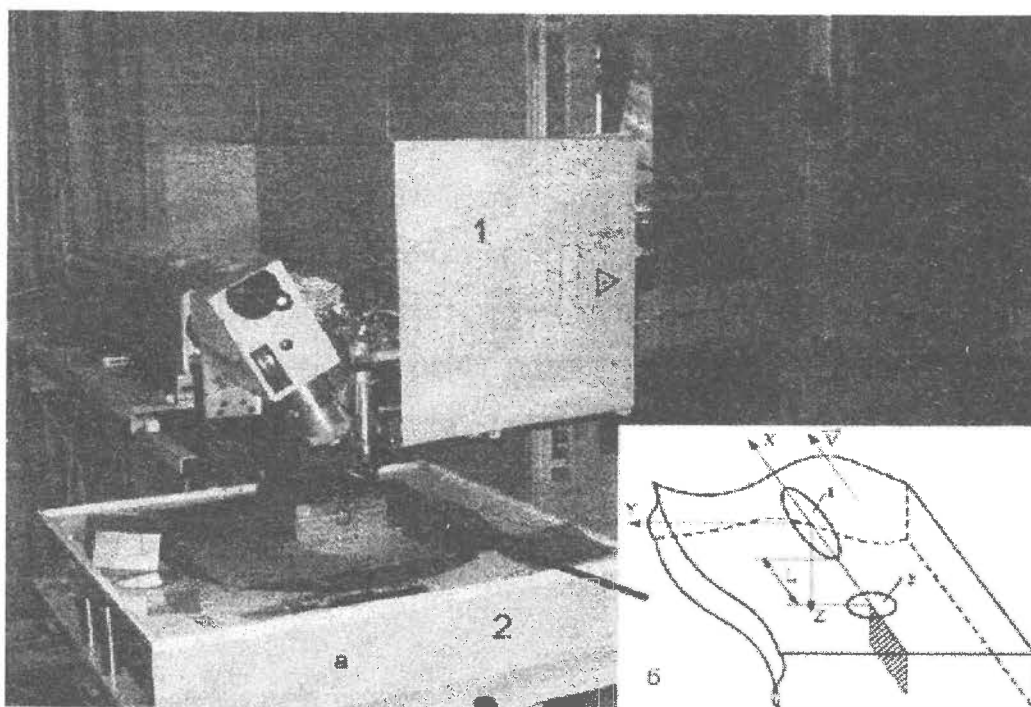


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: (а)- общий вид: 1 – защитный кожух; 2 – координатный стол; 3 – силовой шкаф; 4 – ЧПУ (численное программное управление) SINUMERIK 802S; 5 – термонагреватель; (б) - схема образования микротрещины при управляемом лазерном термораскалывании

В состав координатной системы (рисунок 1(а)) входит: координатный стол 2 и система численного программного управления (ЧПУ) SINUMERIK 802S 4. На координатном столе смонтирован термонагреватель 5 с автоматической системой нагрева заготовки до заданной температуры. Управление нагревом осуществляется программно через систему ЧПУ SINUMERIK 802S.

Для оптимизации лазерного управляемого термораскалывания были проведены экспериментальные исследования по следующей схеме.

Стеклозаготовка размещается на термонагревателе и осуществляется нагрев до заданной температуры по всему объему стекла. После объемного нагрева стеклозаготовки проводится термораскалывание с помощью излучения CO_2 лазера. Излучение фокусируется на поверхности стеклозаготовки с помощью сферическо-цилиндрической оптики из NaCl в эллиптический пучок с плотностью мощности $(0,5\div 3)\cdot 10^6$ Вт/м². Эллиптический пучок ориентирован большой полуосью эллипса по направлению относительного перемещения лазерного луча и стеклозаготовки. Эксперименты проводились на силикатном стекле марки ВВС, толщина стеклозаготовок составляла 4 и 6 мм.

Проведена оценка случайных погрешностей и их влияние на истинные значения измеряемых величин методами теории вероятностей и обработка многократных измерений методами математической статистики[4].

Результаты эксперимента и их обсуждение. Изученные в литературе режимы термораскалывания в основном относятся к методу обработки стекла при комнатной температуре. Проведена серия экспериментов по термораскалыванию при комнатной температуре стеклозаготовок и с повышением температуры через 20 °С до 120 °С. Температура задавалась исходя из того, что термостойкость стекла лежит в интервале 70÷120 °С и зависит от марки стекла и технологии его изготовления [3], превышение температуры свыше 120 °С нежелательно, так как при последующем нагреве линии реза лазерным пучком и локальном охлаждении с помощью хладагента зоны нагрева возникает опасность неуправляемого разрушения стеклозаготовки под действием термонапряжений.

В ходе работы выявлено, что при плотности мощности $0,5\div 3$ Вт/мм² и подаче воздушно-водяной смеси зону нагрева с расходом 0,025÷0,045 мл/с предельная глубина микротрещины при комнатной температуре для стекла толщиной 4 мм составляет 0,55 мм и для стекла толщиной 6 мм – 0,75 мм. Т.к. параметры микротрещины ограничены факторами, влияющими на процесс термораскалывания (пределы плотности мощности, при которых возможен процесс зарождения микротрещины и расход хладагента), то необходимо применять специальные меры для увеличения скорости термораскалывания и глубины микротрещины.

Установлено, что нагрев разрезаемой поверхности стекла до температуры в интервале 40÷120 °С приводит к увеличению скорости термораскалывания (рисунок 2(а)). После нагрева линии реза лазерным излучением и резкого охлаждения зоны нагрева путем подачи вслед за лазерным пучком воздушно-водяной смеси в нагретом стекле возникает значительно более глубокая микротрещина. При этом возрастает и скорость термораскалывания.

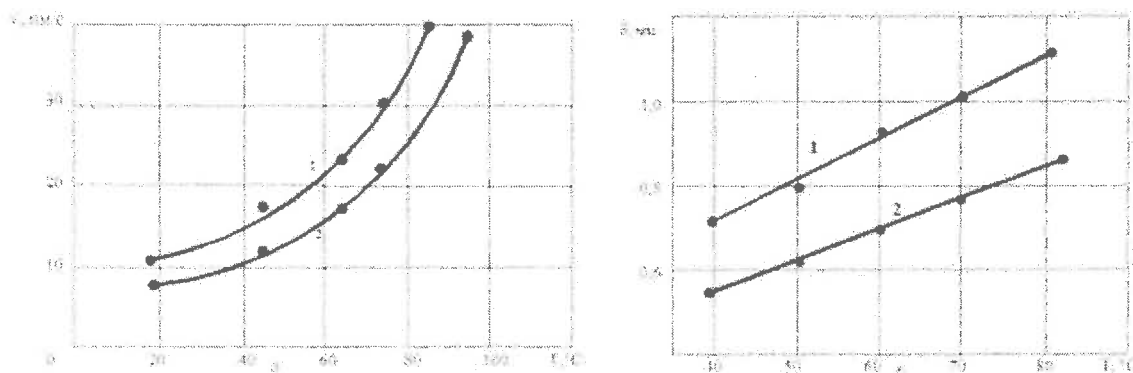


Рисунок 2 – (а) зависимость скорости ЛУТ v от температуры предварительного нагрева T разрезаемой поверхности стекла, толщиной 4 мм (линия 1) и 6 мм (линия 2);

(б) зависимость микротрещины δ от температуры предварительного нагрева T разрезаемой поверхности стекла толщиной 4 мм (линия 2) и 6 мм (линия 1)

Экспериментальные исследования показывают, что объемный нагрев стекла до температуры ниже 40 °С не эффективен, а верхний предел лежит в области 70÷110 °С и обусловлен термостойкостью стекла. Оптимальный диапазон нагрева стеклозаготовки составляет 40÷80 °С. Зависимость глубины образующейся микротрещины от температуры носит линейный характер (рисунок 2(б)). Данный способ позволяет значительно увеличить глубину микротрещины по сравнению с предельной глубиной, достигаемой при начальной (комнатной) температуре стеклозаготовки, обеспечивает повышение производительности.

Предварительный нагрев образца может применяться не для всех технологических изделий. Примером таких изделий может послужить стекло с нанесенными легкоплавкими покрытиями. В связи с этим проведены исследования и установлены технологические параметры другого способа углубления микротрещины. Он заключается в углублении предварительно нанесенной микротрещины путем повторного нагрева лазерным излучением без использования хладагента. Для этого была исследована зависимость изменения глубины исходной

микротрещины от скорости повторного нагрева для стекол толщиной 4 и 6 мм.

Установлено, что применение повторного нагрева лазерным излучением линии реза позволяет значительно углубить исходную микротрещину при перемещении лазерного пучка и стеклозаготовки. Зависимость глубины микротрещины при повторном нагреве линии реза лазерным пучком, носит линейный характер (рисунок 3). Для стекла толщиной 4 мм, при глубине исходной микротрещины 0,5 мм, максимальная глубина микротрещины после повторного нагрева достигает 3 мм. Для стекла толщиной 6 мм, при глубине исходной микротрещины 1,1 мм, максимальная глубина микротрещины достигает 5,6 мм.

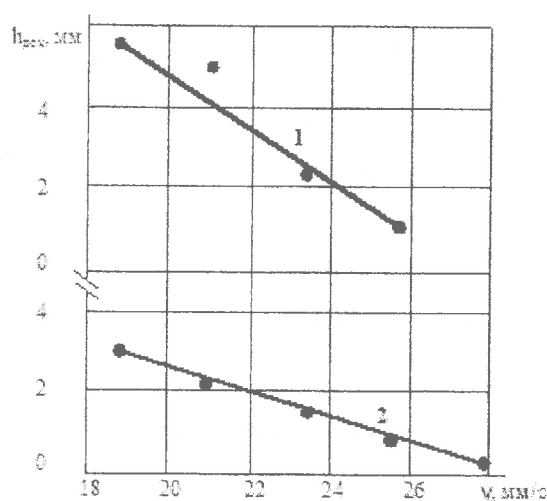


Рисунок 3 – Зависимость изменения глубины исходной микротрещины от скорости повторного нагрева толщиной 6 мм (линия 1) и 4 мм (линия 2)

Для окончательного разделения можно воспользоваться механическим разламыванием стекла.

Выводы

1. Исследован процесс лазерного управляемого термораскалывания стекла с предварительным объемным нагревом стеклозаготовки. Установлено, что предельная глубина микротрещины, достигаемая при комнатной температуре увеличивается в 2 раза при росте начальной температуры стеклозаготовки до 80 °С.

2. Предварительный нагрев стеклозаготовки до температуры 40÷80 °С приводит к увеличению скорости термораскалывания в 2,5 раза.

3. Способ лазерного термораскалывания стеклозаготовки с применением повторного нагрева позволяет эффективно докалывать стеклозаготовки. Целесообразно применять данную технологию для вырезки изделий по сложным

криволинейным контурам.

Обозначения

ЧПУ – численное программное управление.

Литература

1. Управляемое термораскалывание стекла с помощью лазерного излучения/ Белоусов Е.К. [и др.] // Электрон. пром. -1978.-№9.-С.65-68.
2. Установка для лазерного термораскалывания хрупких неметаллических материалов: пат. 683 Респ. Беларусь. С. В. Шалупаев, Е. Б. Шершнев, Ю. В. Никитюк–2001.
3. Богуславский, И.А. Высокопрочные закаленные стекла/ И.А. Богуславский.–М:Стройиздат, 1969.–208 с.
4. Елизаров, А.С. Электрорадиоизмерения/ А.С. Елизаров.-Мн.:Вышэйшая школа, 1986.- 10 с.

Поступила в редакцию 15.01.2008.

E.B. Shershnev, V.V. Sviridova, S.I. Sokolov.

OPTIMIZATION OF PROCESS OF LASER OPERATED THERMOSPLITTING HAS FLOWN DOWN RADIATION OF THE INFRA-RED RANGE

In work are carried out researches on influence of preliminary heating glass preparation on process laser operated thermosplitting. Influence of repeated heating of a line of a cut by laser radiation on depth of a dividing microcrack is investigated.