



# **ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**Часть 2**



Министерство образования Республики Беларусь  
Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы  
Национальная академия наук Беларуси  
Отделение физики, математики и информатики НАНБ  
Белорусский республиканский фонд фундаментальных  
исследований

## **ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ**

Материалы IV Международной конференции  
по лазерной физике и спектроскопии

Под редакцией В.К.Кононенко

В 2 частях

Часть 2

4-8 октября 1999 года

Гродно  
Республика Беларусь

Гродно 1999

УДК 543.42:621.373

ББК 53

Л 17

Оргкомитет: **А.Войтович** (председатель), Минск, Беларусь;  
**С.Багаев** (сопредседатель), Новосибирск, Россия;  
**С.Маскевич** (сопредседатель), Гродно, Беларусь;  
**А.Рубинов** (сопредседатель), Минск, Беларусь.

**Лазерная физика и спектроскопия: Материалы IV**  
Л 17 Междунар. конф. по лазерной физике и спектроскопии/  
Под ред. В.К.Кононенко. В 2 ч. Ч. 2. — Гродно: ГрГУ,  
1999. — 310 с.

Часть 2 материалов IV Международной конференции по лазерной  
физике и спектроскопии содержит доклады, представленные на секциях III и IV.  
Статьи являются копиями авторских оригиналов, которые были  
получены оргкомитетом.

УДК 543.42:621.373

ББК 53

© Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы, 1999

# КОМБИНИРОВАННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЕ

С. В. Шалупас, Е. Б. Шершнев, Ю. В. Никитюк

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины  
ул. Советская 104, 246699, Гомель, Беларусь.

Данное сообщение посвящено анализу нового метода разделения стекла с помощью непрерывно действующих  $\text{CO}_2$  - лазеров. Сущность метода заключается в асимметричном нагреве стекла лазерным пучком эллиптического сечения с последующим образованием в стекле наклонной трещины со скругленными кромками. Оптимизация конкретного технологического режима достигается путем численного анализа полей температурных напряжений, формируемых в зоне обработки.

Существующие технологии обработки стекла и других хрупких неметаллических материалов основываются на традиционных методах, сопряженных с большим количеством трудоемких ручных операций, трудно поддающихся механизации и автоматизации. Поэтому представляют интерес методы лазерного термораскалывания, лишенные вышеуказанных недостатков.

Изделия остекления с прямоугольной геометрией кромок, полученные методами лазерного термораскалывания, обладают повышенной механической прочностью. Однако острые кромки такого профиля создают предпосылки для резкого разупрочнения при малейших механических повреждениях. Для решения данной проблемы возможно применение метода комбинированного лазерного термораскалывания, позволяющего получить скругленные кромки изделий. Сущность метода заключается в том, что при нагреве стекла лазерным пучком эллиптического сечения, ориентированным под углом к направлению относительного перемещения (асимметричный нагрев), в стекле образуется наклонная трещина со скругленными

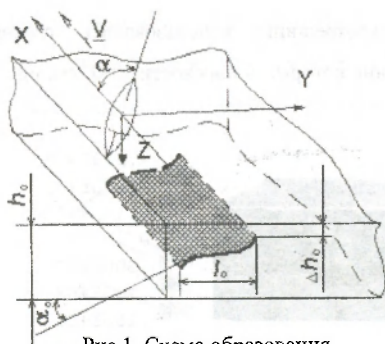


Рис.1. Схема образования скругленной кромки.

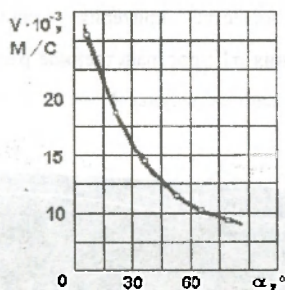


Рис. 2. Зависимость скорости распространения трещины в стекле от угла поворота лазерного пучка.

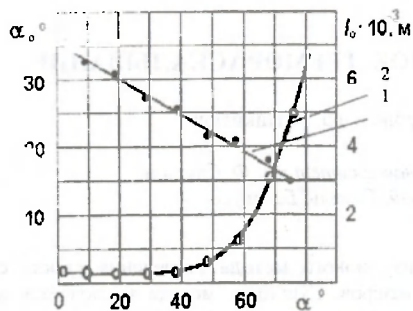


Рис.3. Зависимость угла наклона прямолинейного участка трещины (2) и ее ширины (1) от угла поворота лазерного эллиптического пучка.

следующих параметрах эллиптического лазерного пучка: большая ось  $A=8 \cdot 10^{-3}$  м, малая ось  $B=2.5 \cdot 10^{-3}$  м, плотность мощности излучения  $P_0=1.4 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>.

Для пояснения образования наклонной трещины необходима информация о распределении температурных напряжений формируемых в стекле при его асимметричном нагреве. Для решения данной задачи был использован метод конечных элементов реализованный в программе ANSYS. Зависимости теплофизических характеристик стекла от температуры  $T$  были учтены в линейном приближении: коэффициент теплопроводности положили равным  $\lambda=0,88+0,0012 \cdot T$  Вт/м·К, удельная теплоемкость  $c=860+0,445 T$  Дж/кг·К, плотность  $\rho=2450$  кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости  $E=69 \cdot 10^9$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu=0,221$ , коэффициент температурного расширения стекла  $\alpha_T=5,8 \cdot 10^{-6}$  (1/°C). Скорость относительного перемещения лазерного луча и стеклянной пластины  $V=11 \cdot 10^{-3}$  м/с, угол поворота  $\alpha$  большой оси  $A$  эллиптического лазерного пучка к направлению относительного перемещения был принят равным  $65^\circ$ .

В качестве критерия развития микротрещины использовались главные напряжения  $\sigma_1$  пространственное распределение которых в плоскости  $X=0$  (см. рис.1) представлено на рисунке 4.



Рис. 4. Распределение главных напряжений  $\sigma_1$ , Па.

кромками (см. рис. 1). На рис.2 показана экспериментальная зависимость скорости распространения трещины от угла поворота  $\alpha$  большой оси  $A$  эллиптического лазерного пучка к направлению относительного перемещения лазерного луча и стеклянной пластины. Характер изменения угла наклона прямолинейного участка трещины и ширины трещины от угла  $\alpha$  приведены на рисунке 3. Исследования проводились при



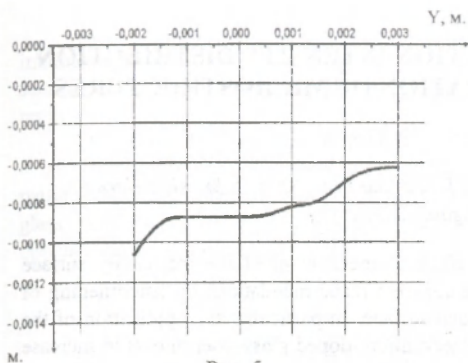


Рис. 5.

На рисунке 5 представлен профиль линии (линия расположена в плоскости  $X=0$  исследуемого образца), в точках которой значения напряжений  $\sigma_1$  максимальны, а значения напряжений  $\sigma_1$  находятся в диапазоне от  $2 \cdot 10^8$  до  $2.5 \cdot 10^8$  Па. Образование микротрещины в исследуемом образце вдоль данной линии является наиболее вероятным.

Как видно из рисунка 5, профиль полученной линии хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Рассмотренный процесс можно использовать для получения скругленных кромок на изделиях остекления в сочетании с другими методами термораскальвания стекла. Один из вариантов реализации такого сочетания приведен на рис. 6. Используя параллельное лазерное термораскальвание нужно получить в объеме стекла трещину параллельную поверхности. После образования в стекле 1 трещины 2 по всему заданному контуру осуществляется повторный нагрев линии реза. При этом лазерный лучок 3 ориентируют под углом к направлению движения и смещают в сторону на величину  $\Delta$ , которую определяют исходя из ширины образующейся наклонной трещины в объеме стекла. Тогда при относительном перемещении лазерного пучка и стекла, под действием термоупругих напряжений, вызываемых асимметричным нагревом, от трещины параллельной поверхности стекла 2 происходит развитие трещины 4. Последняя развивается вглубь стекла, образуя скругленную кромку. Для завершения резки осуществляют нагрев поверхности с одной, а затем с другой стороны источниками тепла, которые смещают к центру вырезаемого изделия на величину  $h_1$  и  $h_2$  относительно края трещины 2 и трещины 4 соответственно.

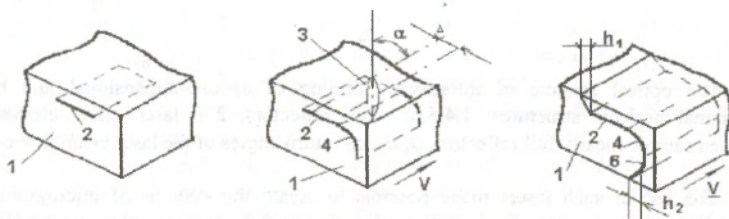


Рис. 6. Схема получения кромок специальной геометрии методом комбинированного термораскальвания стекла.