

05.1

©1994

## МЕХАНИЗМЫ ОРИЕНТАЦИИ МИКРОТРЕЩИН В ОПТИЧЕСКИХ СТЕКЛАХ, ОБРАЗОВАННЫХ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРА С ПАССИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

*А.А.Постников, М.Б.Стригин, А.Н.Чудинов*

Метод разделения стеклянных пластин при помощи излучения лазера с пассивной синхронизацией мод, недавно предложенный в [1], основан на возможности образования микротрещин в объеме материала.

Как отмечалось в названной работе, микротрещины имели форму кругового конуса с вершиной, ориентированной по ходу луча (рис. 1,б). Угол раствора по величине был близок к  $90^\circ$ , а ось симметрии также совпадала с направлением излучения лазера.

В данной работе обсуждается физическая природа ориентации микротрещин. Возможный механизм образования канала был представлен в работе [2], и здесь мы рассмотрим лишь следствия, насколько они помогают пониманию возникновения ориентации микротрещин.

В экспериментах мы использовали тот же самый лазер, собранный на базе ЛТИ 403 (YAG:Nd<sup>3+</sup>) с пассивной синхронизацией мод без специальной системы выделения одиночного пучка из пуга импульсов. Излучение было деполяризовано. В отличие от работы [1], мы применяли линзу с фокусным расстоянием 60 мм.

На рис. 2 представлена гистограмма половинного угла основания конуса микротрещины. Для ее построения мы исследовали порядка 200 микротрещин (воронки). Причем, как указывалось в [1], между воронками, полученными при помощи длиннофокусной линзы, в микроскоп был виден канал, образованный светодетонационной волной [2,3]. При построении графика использовались все микротрещины, в том числе те, между которыми канал отсутствовал.

На гистограмме отчетливо видны два максимума — в районе  $40$  и  $50^\circ$ . Второй максимум ( $\sim 50^\circ$ ) соответствует углу ПВО. Он вызван наличием "оптического" механизма ориентации микротрещин. Подробнее этот механизм рассмотрен в работе [4] применительно к дискообразным трещинам.

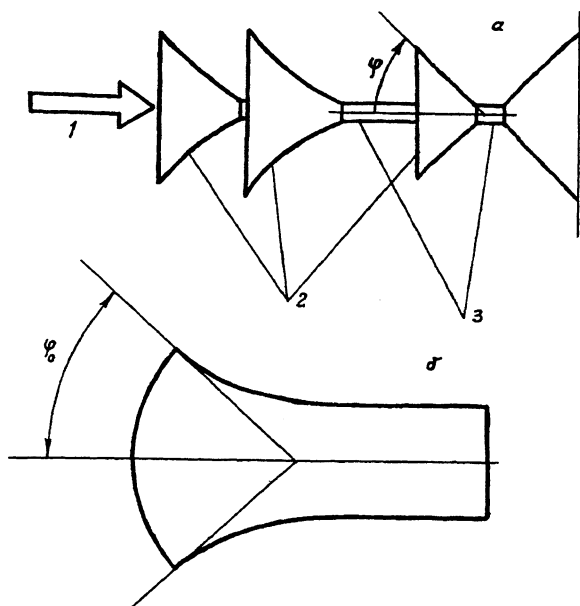


Рис. 1. Ориентация микротрещин в стекле и затухание светодетонационной волны.

1 — лазерный луч, 2 — микротрещины, 3 — канал.

Первый максимум не может быть объяснен в рамках “оптического” механизма. Причиной его возникновения служит светодетонационная волна, а точнее ее распад. Остановимся более подробно на данном механизме.

Как уже указывалось в работах [2,3], когда поступающей энергии луча перестает хватать для развития светодетонационной волны, вся энергия, запасенная в ней, переходит в направленный в некоторый телесный угол поток фононов, которые зарождают сеть мельчайших микротрещин на границе твердое тело — плазма. Очевидно, что данный поток максимален в направлении распространения светодетонационной волны. Вероятность дальнейшего роста трещин под углом  $\varphi$  пропорциональна вводимой световой энергии на единицу площади данной микротрещины —  $S(\varphi)$ . Кривые  $S_s(\varphi)$  и  $S_p(\varphi)$ , изображенные на рис. 3, соответствуют разным линейным поляризациям падающей волны (индекс  $p$

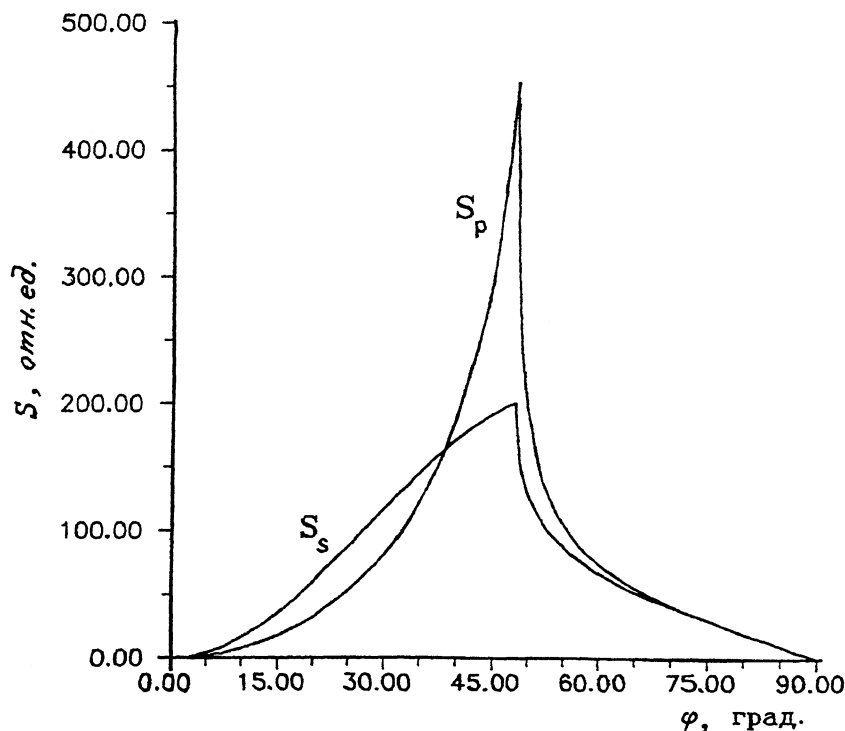


Рис. 2. Гистограмма количества микротрещин ( $n$ ) с данным половинным углом при основании конуса.

означает, что поляризация лежит в плоскости падения;  $s$  — в перпендикулярной).

Вероятность образования воронки под углом  $\varphi$  пропорциональна, кроме того, количеству зародышевых микротрещин, ориентированных под данным углом  $\varphi - \rho(\varphi)$ , т.е.  $P(\varphi) \sim \rho(\varphi)S(\varphi)$ . Как видно из кривых  $S_s(\varphi)$  и  $S_p(\varphi)$ , положение первых моментов, как наиболее вероятных углов роста трещин, для  $s$ - и  $p$ -поляризаций различаются на несколько градусов, т.е. на величину одного порядка с погрешностью данного эксперимента. Считая, что светодетонационная волна на заключительной стадии своего развития дифрагирует в угол  $\varphi_0$  (рис. 1, б),  $\rho(\varphi)$  можно аппроксимировать ступенькой:

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \rho_1, & \text{если } \varphi < \varphi_0 \\ \rho_2, & \text{если } \varphi > \varphi_0. \end{cases}$$

В случае, если энергии падающего пучка не хватает для образования светодетонационной волны, пробой происходит в результате флуктуации интенсивности вследствие

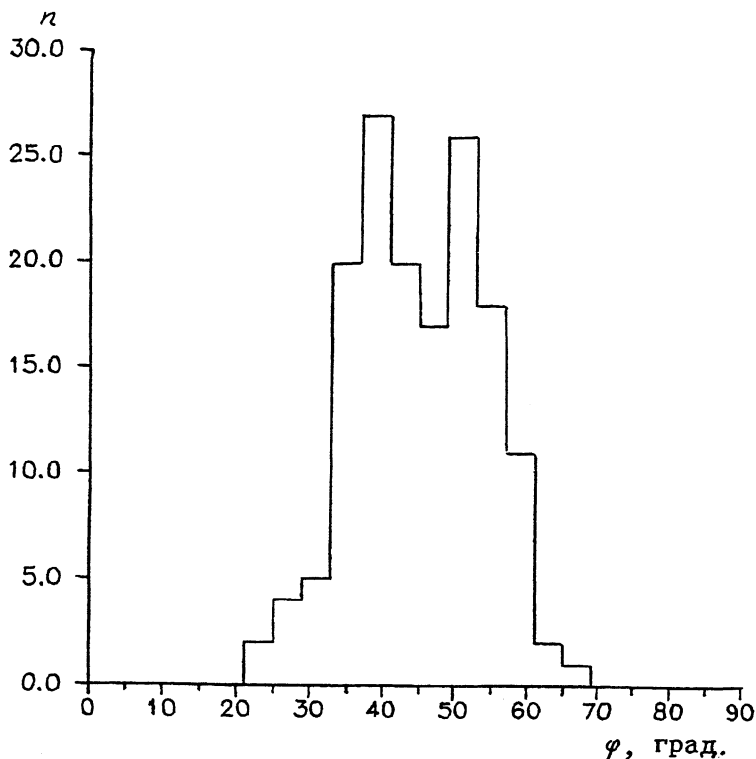


Рис. 3. Энерговвод на единицу площади микротрещины ( $S$ ) с данным половинным углом при основании конуса.

преломлений и отражений света на предыдущих воронках и последующей интерференции. Очевидно, что  $P(\varphi) \sim \sim A\rho(\varphi)S(\varphi) + B\tau(\varphi)S(\varphi)$ , где  $A$  и  $B$  — постоянные, пропорциональные длинам участков каналов, где развивается светодетонационная волна и где она не развивается,  $\tau(\varphi)$  — количество зародышевых микротрещин, ориентированных под данным углом в случае, если светодетонационная волна не образуется. Коэффициенты  $A$  и  $B$  влияют только на высоту максимумов;  $\tau(\varphi)$ , вероятно, является константой.

Из экспериментальных данных следует, что угол  $\varphi_0 \approx \approx 40^\circ$ .

Важно, что появление первого максимума обусловлено высокой плотностью мощности в падающем лазерном луче (хотя бы и при относительно невысокой его суммарной энергии), что обеспечивает появление в стекле светодетонационной волны. В противном случае при малой плотности мощности и, как следствие, при отсутствии светодетонаци-

онной волны получают результаты, аналогичные работе [1], т.е. один максимум в районе угла ПВО.

Существенно также, что часть трещин (воронок) образуется за несколько импульсов. С нашей точки зрения, есть несколько причин данного явления. Во-первых, при работе в районе порога для образования светодетонационной волны необходима некоторая флуктуация интенсивности (лазера). При низкой энергии падающего пучка ее может хватить лишь на увеличение размеров воронки, особенно если излучение многомодовое (в этом случае фокальная область, обретая спекл-структуру, расплывается, и, следовательно, повышается порог эффекта). Во-вторых, светодетонационная волна поглощает только часть энергии. Остальная идет на рост предыдущих воронок.

Кроме того, нами было замечено, что воронки, полученные за несколько импульсов, но зародившиеся при затухании светодетонационной волны, в процессе роста изгибаются, приближаясь к углу ПВО.

Таким образом можно заключить, что в образовании зародышевых микротрещин участвуют два механизма. Первый — оптический пробой с изотропным распределением этих микротрещин по углам. Второй — распад светодетонационной волны с анизотропным угловым распределением ориентации зародышевых микротрещин. Рост же микротрещин происходит за счет ввода световой энергии сквозь границу раздела стекло-газ с ярко выраженным максимумом в области угла падения равного углу ПВО (рис. 3), а также при разгрузке механических напряжений, которые возникают в стекле при образовании плазмы и при ее проникновении в микротрещины.

Все вышесказанное объясняет появление двух максимумов в распределении воронок по углам развертки. Причем порог по плотности мощности для появления первого максимума (при углах меньших угла ПВО) существенно выше порога оптического пробоя.

## Список литературы

- [1] Зельдович Б.Я., Стригин М.Б., Чудинов А.Н. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 7. С. 59-61.
- [2] Chudinov A.N., Strigin M.B. In: OSA Annual Meeting, 1993. (Optical Society of America, Washington, D.C., 1993.) V. 16. P. 125.
- [3] Strigin M.B., Chudinov A.N. // Opt. Comms. 1994. 106. P. 223-226.
- [4] Кондрашов С.В., Пилипецкий Н.Ф., Саванин С.Ю., Шкунов В.В. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 4. С. 778.

Челябинский государственный  
технический университет

Поступило в Редакцию  
21 декабря 1993 г.  
В окончательной редакции  
2 марта 1994 г.