

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ФОРМИРУЕМЫХ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ

СВ. Шалупаев, В.М. Ткачев, В.В. Свиридова, Д.А. Савенко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомельский политехнический институт им. П.О. Сухого, Беларусь

Современные технологии обработки хрупких неметаллических материалов таких, как стекло, в том числе кварцевое, различных марок керамик в основном базируются на механических методах, подразумевающих большое количество ручных операций. При этом возникают серьезные проблемы с автоматизацией производства, его экологической чистотой, а в ряде случаев и с качеством конечных изделий

Стекло значительно лучше выдерживает резкое нагревание, чем резкое охлаждение. Это объясняется тем, что внутренние слои деформируются позже наружных, вследствие чего внутренние слои, стесняя термическую деформацию в случае резкого нагрева, вызывают сжатие наружных слоев, а в случае резкого охлаждения - растяжение, которому стекло сопротивляется значительно хуже. Одним из наиболее перспективных способов обработки стекла, отвечающих требованиям технологичности, экономичности и экологичности, являются лазерные методы термораскалывания. Одной из разновидностей таких методов является лазерное параллельное термораскалывание, заключающееся в возникновении и развитии параллельно плоской поверхности обрабатываемого материала разделяющей трещины в зоне действия перемещающегося лазерного пучка. Данный способ лазерного разделения стекла позволяет получать тонкие плоскопараллельные пластины, например, экраны для жидкокристаллических индикаторов, избегая трудоемких и дорогостоящих операций шлифования до заданной толщины.

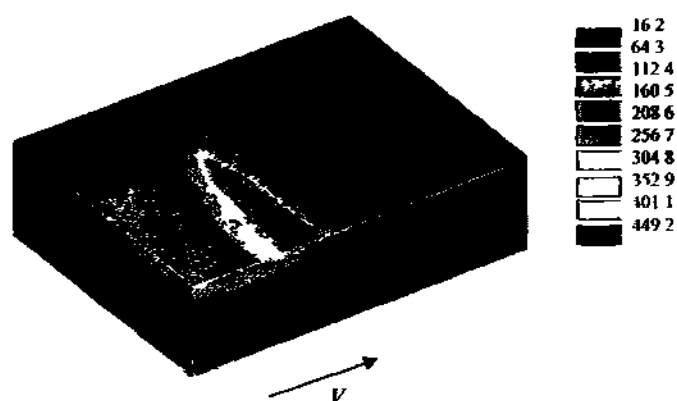


Рис 1 Распределение температуры в моделируемом образце, °C

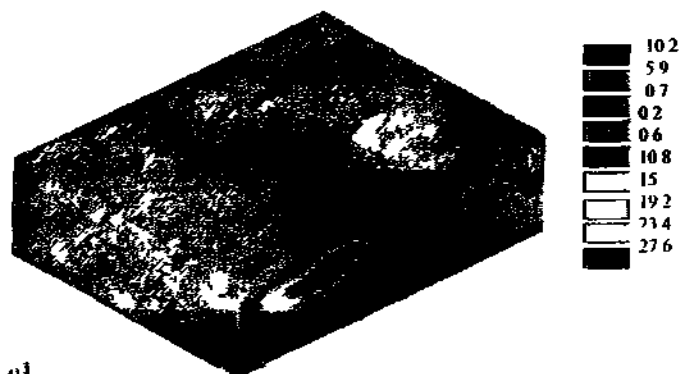


Рис 2 Распределение главных напряжений σ_1 , МПа

Для выяснения технологических возможностей этого процесса и его оптимизации необходимо провести исследование динамики формирования полей температурных напряжений в зоне обработки.

Рассмотрим пластину конечной толщины, по поверхности которой движется эллиптический лазерный пучок с гауссовым распределением интенсивности

$$P = P_0 \exp \left[\frac{(x - Vt)^2}{A^2} - \frac{y^2}{B^2} \right],$$

где P_0 - мощность пучка, x, y - текущая координата пучка, A, B - малая и большая оси эллиптического пучка, V - скорость движения пучка, t - время.

Оси пучка совпадают с осями координат. Движение происходит в направлении малой оси пучка A . Поглощение считается поверхностным, что соответствует использованию непрерывных CO_2 -лазеров с длиной волны $10,6 \text{ мкм}$.

Зависимости теплофизических характеристик стекла от температуры T учтем в линейном приближении: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,88 + 0,0012 \cdot T \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, удельная теплоемкость $c = 860 + 0,445 \cdot T \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$. Плотность $\rho = 2450 \text{ кг/м}^3$, модуль упругости $E = 69 \cdot 10^9 \text{ МПа}$, ν - коэффициент Пуассона, $\nu = 0,221$, α_m - коэффициент температурного расширения стекла, $\alpha_m = 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ (}^1/\text{}^\circ\text{C)}$.

Для расчета температурных напряжений применили метод конечных элементов, реализованный в программе ANSYS. Исходные данные для расчеты: $V = 16 \text{ мм/с}$, $P_0 = 3 \cdot 10^6 \text{ Вт}$, $A = 0,6 \text{ мм}$, $B = 4,5 \text{ мм}$.

Толщина стекла была принята равной 2 мм . Из рисунков видно, что зона максимальных растягивающих напряжений находится, примерно, на глубине $0,6-0,8 \text{ мм}$ от поверхности нагреваемого стекла, что совпадает с экспериментально полученными значениями, в то время как на поверхности - сжимающие. Градиент этих напряжений создает условия для образования трещины. Таким образом, управляя мощностью и временем воздействия пучка на материал, возможно создание условий для возникновения трещины на заданной глубине, а следовательно, получение тонкой пластинки с заданной толщиной. При одновременном воздействии нескольких лазерных пучков имеем возможность получения поверхностей сложной формы с высокой точностью.