

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Соколов С.И., Шершнев А.Е.

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь, sokolov@gsu.by

Наиболее технологичным для размерной обработки хрупких неметаллических материалов является процесс лазерной обработки. Точность лазерной обработки позволяет использовать лазерное излучение для различных задач формообразования хрупких неметаллических материалов, таких как лазерное управляемое термораскалывание, лазерная полировка различных стекол и алмаза, получение стеклоизделий заданной толщины, изготовление стеклоизделий с заданной геометрией кромки и т.д. В связи с этим существует необходимость в оптимизации процессов лазерной обработки с целью повышения качества обработки таких материалов.

К числу факторов, имеющих первостепенное значение для процесса лазерной обработки, следует отнести:

- параметры лазерного пучка, а именно: плотность мощности лазерного излучения, размеры и форма лазерного пучка на поверхности материала;
- скорость относительного перемещения лазерного пучка и материала;
- теплофизические и механические свойства обрабатываемого материала, его размеры и состояние поверхности.

Для понимания физической природы процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с материалами, необходимо знать информацию о распределении температурных полей, задача по определению которых сводится к решению неоднородного трехмерного уравнения теплопроводности.

Однако для анизотропных материалов и в случае учета зависимости теплофизических свойств материала от температуры решение уравнения становится трудной задачей. Поэтому для решения уравнения целесообразно пользоваться методом конечных элементов [1]. При этом на первом этапе выполняется расчёт полей температур, а затем определяются термоупругие напряжения, формируемые в результате воздействия лазерного излучения на обрабатываемый материал. Такой алгоритм моделирования определяет получение результатов в рамках несвязанной задачи термоупругости в квазистатической постановке [2].

Учет зависимости теплофизических свойств материала от температуры при решении уравнения с помощью метода конечных элементов позволяет более точно вычислить распределение температурных полей в зоне обработки. Так, например, было проведено моделирование процесса однолучевой лазерной сварки кварцевого стекла как с учетом зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры, так и без учета. Учет зависимости теплофизических свойств привел к уменьшению максимальной расчетной температуры в зоне сварки в 1,7 раза [сварка].

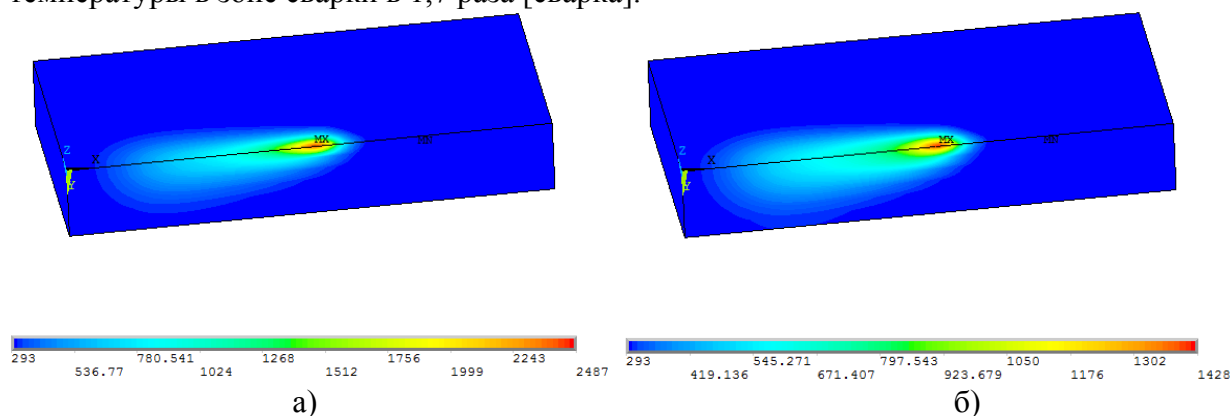


Рисунок 1 – Распределение температуры при однолучевой лазерной сварке кварцевого стекла: а) без учета зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры; б) с учетом зависимости теплофизических свойств кварцевого стекла от температуры

Метод конечных элементов также помогает учитывать анизотропию кристаллических тел при моделировании лазерной обработки. Упругие и теплофизические свойства описываются независимыми компонентами тензора и имеют вид матричной записи. Так, например, было проведено моделирование лазерного термораскалывания кварцевых пластин было выполнено с применением метода конечных элементов [4]. Полученные результаты свидетельствуют об определяющем значении анизотропии теплопроводности кристаллов кварца и анизотропии их теплового расширения на величину термоупругих напряжений, формируемых при управляемом лазерном термораскалывании этого материала. При этом использование тензоров свойств материала позволяет использовать алгоритм для проведения расчетов термоупругих полей, формируемых в образцах других типоразмеров и по различным направлениям, а также для других скоростей обработки и параметров лазерного излучения.

Метод конечных элементов позволяет проводить исследования лазерного раскалывания кварцевого стекла в рамках теории термоупругости и линейной механики разрушения с учетом параметров стартового дефекта и с использованием перестроения конечно-элементной сетки. При этом применение технологии моделирования процесса формирования термоиндуцированной трещины в рамках теории термоупругости и линейной механики разрушения с использованием техники перестроения конечно-элементной сетки обеспечивает возможность проведения необходимых расчетов технологических режимов лазерного термораскалывания кварцевых стекол с учетом параметров стартового дефекта [5].

Метод конечных элементов упрощает расчет температурных полей при обработке материалов, состоящего из частей с различными свойствами. Это помогает рассчитать температурные поля при обработке алмаза, с последующей графитизацией его поверхностного слоя с помощью моделирования процесса фазового перехода алмаз – графит. Учет анизотропии свойств кристаллов алмаза и учет процесса графитизации оказывает существенное влияние на значения термоупругих напряжений в зоне лазерной обработки и позволяет сделать вывод о том, что использование изотропной модели процесса лазерной обработки кристаллов алмазов приводит к существенным погрешностям до 45% [6].

При микро- и макроформообразовании кристаллов алмаза до настоящего времени в большинстве случаев используется излучение ближней ИК области (1,064 мкм). Однако спектральные характеристики этого материала показывают объемное поглощение в области более коротких длин волн видимого диапазона и достигают поверхностного поглощения в ультрафиолетовой области (рисунок 2). В связи с этим необходимо спектральное исследование природных и искусственных кристаллов, содержащих различные примеси для учета характера поглощения и определения коэффициентов поглощения для компьютерного моделирования процесса методом конечных элементов.

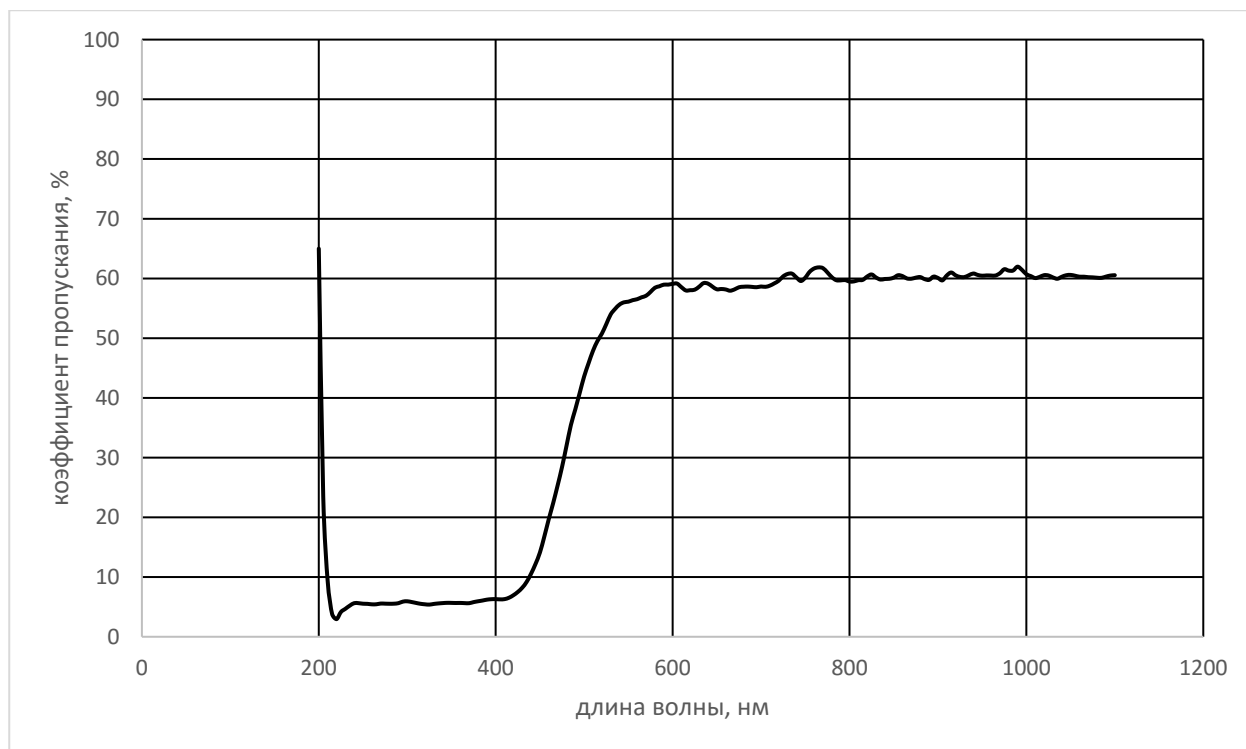


Рисунок 2 – Спектр пропускания СТМ «Алмазот», полученный на спектрофлуориметре CM 2203 - SOLAR

С помощью нелинейной оптики излучение 1,064 мкм можно преобразовать в излучение с длиной волны 532 нм и 266 нм, что позволит производить качественную прецизионную обработку кристаллов алмаза.

Таким образом моделирование процессов лазерной обработки хрупких неметаллических материалов с помощью метода конечных элементов позволяет оптимизировать процесс лазерной обработки с целью минимизации безвозвратных потерь дорогостоящего обрабатываемого сырья и износа оборудования.

Список литературы

1. Шабров, Н. Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н. Н. Шабров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 212 с.
2. Коваленко, Л.Д. Основы термоупругости / Л.Д. Коваленко.– Киев: Наукова думка, 1970. – 307 с.
3. Шершнев Е.Б., Никитюк Ю.В., Соколов С.И., Шершнев А.Е. Распределение температурных полей при двулучевой сварке кварцевого стекла // Известия ГГУ им. Ф.Скорины. – 2012. – №4.– С.105–109.
4. А.Н. Сердюков, Е. Б. Шершнев, Ю. В. Никитюк, В. Ф. Шолох, С.И. Соколов / Особенности управляемого лазерного термораскалывания кристаллического кварца // Кристаллография. – 2012. – Т. 57, № 6. – С. 906-912.
5. Шершнев Е.Б., Никитюк Ю.В., Соколов С.И. Особенности лазерного термораскалывания кварцевого стекла // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 3 .– С.39–44.
6. Шершнев Е.Б., Никитюк Ю.В., Соколов С.И., Шершнев А.Е. Особенности формирования термоупругих полей при лазерной обработке кристаллов алмаза // Проблемы физики, математики и техники. – 2015, №1 . – С.38–40.