

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ АЛМАЗА

Шершнев Е.Б., Никитюк Ю.В., Соколов С.И., Шершнев А.Е.
УО «ГТУ им. Ф. Скорины», Гомель, Республика Беларусь, sokolov@gsu.by

Существующая технология обработки алмазов основана на применении простых механических станков и рассчитана на использование рабочих высокой квалификации, знающих кристаллографию алмаза. Резервы повышения эффективности использования алмазного сырья при традиционном методе обработки практически исчерпаны. Другие известные методы размерной обработки алмаза (термохимический, электроэрозионный, химикокаталитический, ультразвуковой) не нашли применения в технологии размерной обработки алмазов вследствие низкой производительности труда и сложности реализации в производственных условиях. В связи с этим представляется перспективной лазерная обработка алмазов, имеющая следующие преимущества [1, 2]:

- благодаря возможности фокусировки излучения, обеспечивающей локальность нагрева, возможно получение узких разрезов с минимальной зоной термического влияния;
- высокая плотность мощности, достигаемая при фокусировке луча на поверхность обработки, обеспечивает высокую производительность процесса;
- применение импульсно – периодических лазеров позволяет контролировать состояние алмаза при высоких температурах;
- существует возможность автоматизации процесса на высоком уровне;
- применение соответствующих координатных устройств позволяет осуществить лазерную резку по сложному контуру в двух и даже в трех измерениях.

Таким образом, сравнительный анализ современного состояния технологии обработки алмазов показывает, что лазерная обработка имеет серьезные преимущества в основных операциях предварительной обработки, обеспечиваемые возможностью получения узких резов под воздействием локального температурного воздействия.

В связи с этим представляется актуальным исследование процессов лазерной обработки алмазов, изучение эффективности воздействия импульсного лазерного излучения на кристаллы алмаза в различных кристаллографических направлениях с помощью компьютерного моделирования.

Трудности, возникающие при использовании аналитических методов для решения задач теплопроводности, обуславливают необходимость использования численных методов для моделирования процессов лазерной обработки кристаллов алмаза. Наилучшим образом для этих целей подходит метод конечных элементов (МКЭ) [3].

Наиболее важными преимуществами МКЭ при расчете режимов лазерной обработки кристаллов алмаза являются следующие:

- возможность учета зависимости свойств материалов от температуры при численном моделировании;
- простота рассмотрения задачи при использовании смешанных граничных условий;
- применимость метода для тел, изготовленных из нескольких материалов;
- возможность использования МКЭ при решении задач о телах произвольной геометрической формы.

Общей физической модели, охватывающей все особенности воздействия лазерного излучения на кристаллы алмаза нет. Одной из основных моделей, с помощью которой возможно описание процессов разрушения алмаза при лазерной обработке, является модель теплового разрушения.

В соответствии с моделью теплового разрушения, лазерную обработку алмаза можно представить следующим образом: после поглощения алмазом первых импульсов лазерного излучения на поверхности алмаза образуется тонкий слой графита. Дальнейшее поглощение последующих импульсов лазерного излучения происходит в образовавшемся слое графита.

Важную роль играет то, что при графитизации алмаза гексагональные плоскости графита располагаются всегда параллельно кристаллографическим плоскостям (111) алмаза, независимо от ориентации падающего лазерного излучения [2].



Рисунок 1 – Схема превращений алмаза под воздействием лазерного излучения

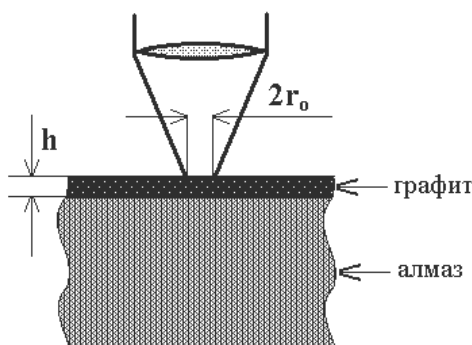


Рис. 2. Расчетная схема системы алмаз – графит.

Воздействие лазерного излучения на кристаллы алмаза сопровождается разнообразными эффектами, в том числе и фазовыми превращениями. Имеющиеся данные позволяют предполагать, что при лазерной резке происходят не только его графитизация, испарение, переосаждение графита и рекристаллизация но и новообразование поликристаллического алмазного вещества с промежуточным испарением углерода и возникновением углеродосодержащей плазмы (см. рис.1.). Учет всех превращений при моделировании вызывает определенные трудности, в связи с этим расчеты проводились по упрощенной схеме (алмаз \Rightarrow фазовый переход \Rightarrow графит \Rightarrow испарение).

Моделирование процесса фазового перехода алмаз - графит осуществлялось за счет циклической проверки условия достижения точками обрабатываемого материала температуры графитизации с последующим присвоением теплофизических свойств графита соответ-

ствующим областям конечно элементной модели. При этом учитывалась строгая ориентация гексагональных плоскостей графита параллельно плоскостям (111) кристаллов алмаза, независимо от ориентации падающего лазерного излучения.

В соответствии с изложенной выше моделью процесса лазерной резки алмаза, было рассмотрено решение задачи о распределении температурных полей, форме и глубине лунки и формируемой при нагревании поверхностным лазерным источником двухслойного материала.

При расчетах плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности алмаза и графита принимались равными соответственно: $\rho_a = 3520 \text{ кг/м}^3$, $\rho_r = 2300 \text{ кг/м}^3$; $C_a = 854 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, $C_r = 994 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $\lambda_a = 427 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $\lambda_{r\perp} = 88 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $\lambda_{r\parallel} = 355 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ [3]. Символом $\lambda_{r\perp}$ обозначен коэффициент теплопроводности графита в направлении, перпендикулярном гексагональным граням, а символом $\lambda_{r\parallel}$ обозначен коэффициент теплопроводности графита в направлении, параллельном гексагональным граням.

Расчет формы лунок и температурных полей, формируемых в кристаллах алмаза в результате лазерного нагрева, был выполнен для трёх различных вариантов: I – трехмерный анализ при воздействии лазерного излучения вдоль оси симметрии второго порядка (L_2), II – трехмерный анализ при воздействии лазерного излучения вдоль оси симметрии третьего порядка (L_3), III – трехмерный анализ при воздействии лазерного излучения вдоль оси симметрии четвертого порядка (L_4).

Расчеты выполнены для следующих значений технологических параметров обработки: плотность мощности лазерного излучения $P_0 = 1 \cdot 10^{12} \text{ Вт/м}^2$, радиус поперечного сечения лазерного пучка $R = 0,05 \text{ мм}$. Длина волны лазерного излучения 1064 нм .

Результаты компьютерного моделирования приведены на рисунках 3 - 4.

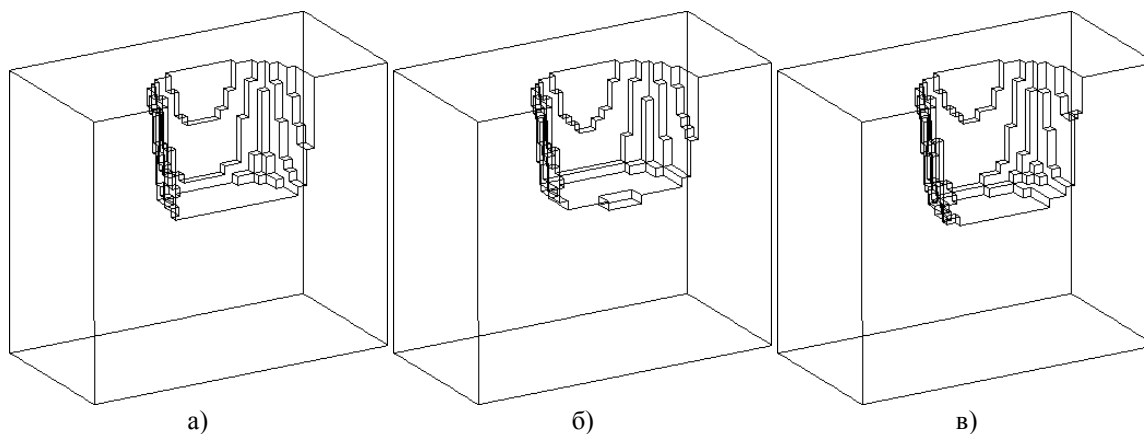


Рисунок 3 – Расчетная форма лунки в алмазе, обрабатываемом лазерным излучением вдоль: а) оси L_2 ; б) оси L_3 ; в) оси L_4

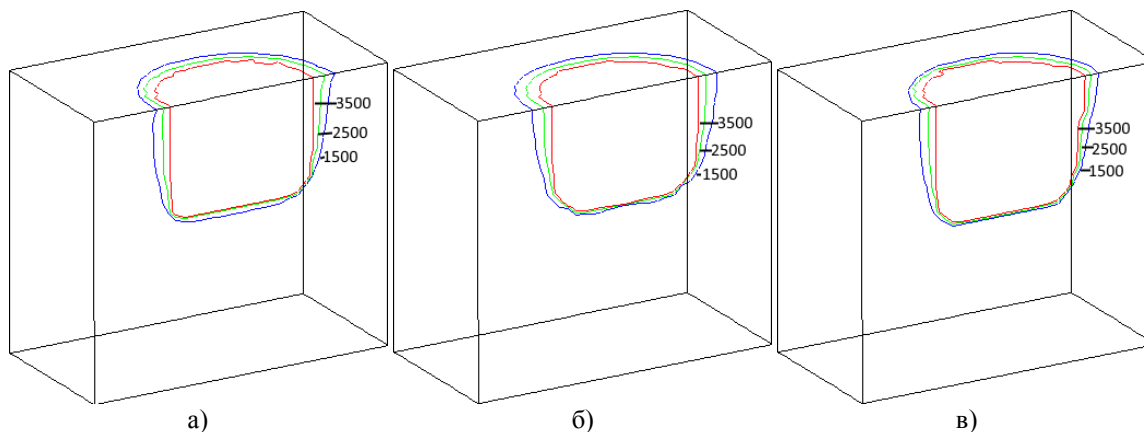


Рисунок 4 – Распределение температурных полей T, K на поверхности исследуемого образца, обрабатываемом лазерным излучением вдоль: а) оси L_2 ; б) оси L_3 ; в) оси L_4

Как видно из рисунков 3-4 распределение температурных полей в случае воздействия лазерного излучения вдоль осей L2 и L4 отличается от аналогичного вдоль L3 своей асимметричностью. Кроме этого для различных вариантов обработки характеризуются различными глубинами расположения соответствующих изолиний в исследуемом образце. Данные обстоятельства обуславливают различие в форме и глубине лунок, рассчитанных для этих трёх случаев.

Таким образом, из полученных результатов следует, что предложенная модель дает возможность установить основные закономерности процесса нагрева двухслойного тела "графит-алмаз" и предсказывает различие в глубине и форме образующихся лунок при воздействии лазерного излучения в разных кристаллографических направлениях. Данные особенности необходимо учитывать для сохранения геометрической формы изделий и уменьшения безвозвратных потерь путем корректировки технологических режимов лазерной обработки материала.

Литература

1. *Митягин, А.Ю.* Технология и оборудование для обработки алмазных материалов современной техники/ А.Ю. Митягин, А.А. Алтухов, А.Б. Митягина// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – №1. – С. 53–58.
2. *Физические основы лазерной обработки алмазов: в 15 кн.: учеб. пособие для ВТУ-Зов / А.И. Шкадов; под ред. А.М. Бочарова.* – Смоленск, 1997. – Кн. 3: Физические основы лазерной обработки алмазов. – 288 с.
3. *Шабров, Н.Н.* Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н.Н. Шабров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 212 с.