

УДК 539.12

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНАМИ ВОЛН 1064 НМ, 532 НМ И 266 НМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Е.Б. Шершнев, Ю.В. Никитюк, С.И. Соколов, А.Е. Шершнев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

FEATURES OF LASER RADIATION WITH 1064 NM, 532 NM, AND 266 NM FOR THE TREATMENT OF THE CRYSTALS OF DIAMOND

E.B. Shershnev, Y.V. Nikitjuk, S.I. Sokolov, A.E. Shershnev

F. Scorina Gomel State University

Выполнено моделирование процесса обработки кристаллов алмазов под действием лазерного излучения инфракрасного, зеленого и ультрафиолетового диапазона. Проведен анализ температурных полей и полей термоупругих напряжений, формируемых в кристаллах алмаза в результате лазерного воздействия для трех различных вариантов: анализ воздействия лазерного излучения вдоль осей симметрии второго (L_2), третьего (L_3) и четвертого порядка (L_4).

Ключевые слова: лазерная обработка, алмаз, метод конечных элементов.

Simulated diamond crystals processing by laser infrared, green and ultraviolet range was done. The analysis of temperature fields and thermal stress fields generated in the diamond crystals as a result of laser exposure was carried out for three different options: an analysis of the effect of laser radiation along the axis of symmetry of the second (L_2), third (L_3) and fourth-order (L_4).

Keywords: laser treatment, diamond, finite element method.

Введение

Уникальные физические свойства кристаллов алмаза обеспечивают стабильную работу в критических условиях устройств, созданных на его основе, и делают перспективным его применение при создании новой техники [1]. В ряде работ проведено исследование особенностей лазерной обработки кристаллов алмазов в различных кристаллографических направлениях при воздействии лазерного излучения с длиной волны 1064 нм [2]–[5]. В то же время вызывает интерес изучение особенностей локализации температурных полей и полей термоупругих напряжений, формируемых в кристаллах алмаза при воздействии лазерного излучения с длиной волны 532 нм и 266 нм.

1 Моделирование

Расчет полей термоупругих напряжений, формируемых в кристаллах алмаза при лазерном воздействии, был выполнен с использованием метода конечных элементов в рамках несвязанной задачи термоупругости в квазистатической постановке [6]–[8].

При расчетах плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности алмаза принимались равными соответственно: $\rho_a = 3520 \text{ кг/м}^3$, $C_a = 854 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, $\lambda_a = 427 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ [2].

Для расчетов использовались следующие константы упругой жесткости: $C_{11} = 1079 \text{ ГПа}$, $C_{12} = 124 \text{ ГПа}$, $C_{44} = 578 \text{ ГПа}$ [9].

Расчет термоупругих полей, формируемых в кристаллах алмаза в результате лазерного

воздействия, был выполнен для трех различных вариантов: I – анализ воздействия лазерного излучения вдоль оси симметрии второго порядка (L_2), II – анализ воздействия лазерного излучения вдоль оси симметрии третьего порядка (L_3), III – анализ воздействия лазерного излучения вдоль оси симметрии четвертого порядка (L_4).

Коэффициент объемного поглощения определялся исходя из данных, полученных на спектрофлуориметре СМ 2203. Для длины волны равной 1064 нм расчетный показатель поглощения равен $1,5 \text{ см}^{-1}$, для 532 нм – $3,17 \text{ см}^{-1}$, для 266 нм – $53,87 \text{ см}^{-1}$.

Моделирование процесса лазерного нагрева кристаллов алмаза было выполнено в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.1. Цифрой 1 отмечен лазерный пучок, цифрой 2 – алмазный образец. На рисунке стрелкой указано направление перемещения обрабатываемого изделия относительно лазерного пучка.

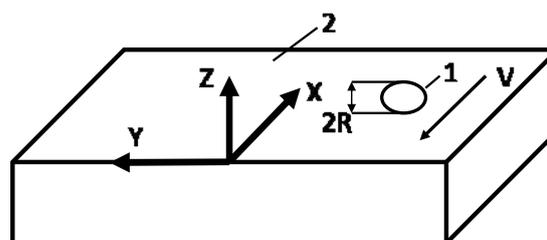


Рисунок 1 – Схема расположения лазерного пучка в зоне обработки

Расчеты были выполнены для образца, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда с геометрическими размерами 2х3х1,5 мм, с использованием следующих значений технологических параметров обработки: плотность мощности лазерного излучения $P_0 = 8 \cdot 10^9$ Вт/м², радиус поперечного сечения лазерного пучка $R = 0,1$ мм. Модуль скорости относительного перемещения лазерного пучка и образца $V = 5$ мм/с.

2 Результаты моделирования

На рисунках 2.1–2.3 приведены результаты расчетов температурных полей.

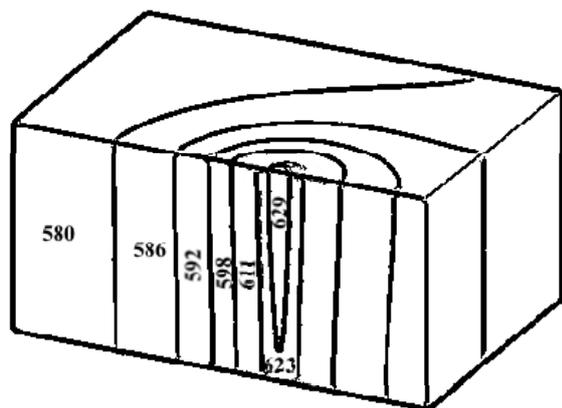


Рисунок 2.1 – Распределение температурных полей при обработке алмаза лазерным излучением с длиной волны 1064 нм

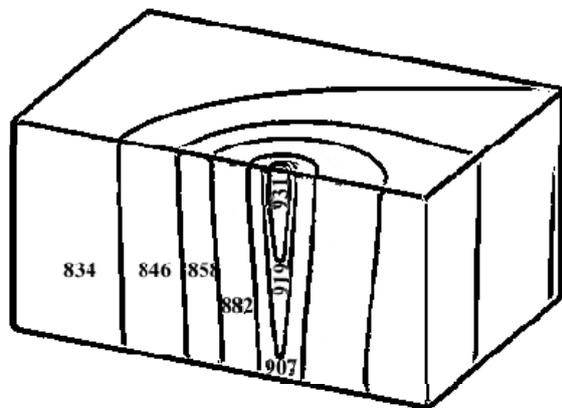


Рисунок 2.2 – Распределение температурных полей при обработке алмаза лазерным излучением с длиной волны 532 нм

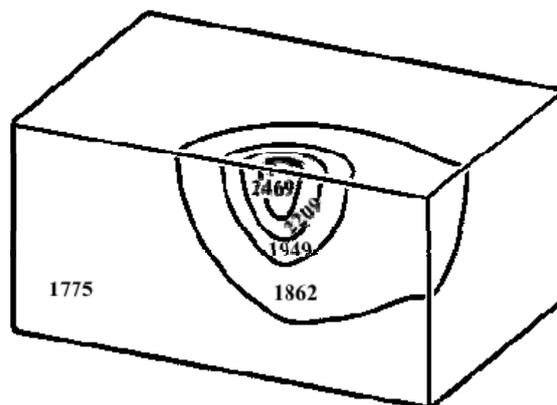


Рисунок 2.3 – Распределение температурных полей при обработке алмаза лазерным излучением с длиной волны 266 нм

Анализ рисунков 2.1–2.3 показывает, что температура в зоне обработки достигает максимального значения при воздействии лазерного излучения с длиной волны 266 нм, а наименьшее значение – при длине волны 1064 нм при одинаковых параметрах обработки. Это объясняется тем, что на длине равной 266 нм поглощение лазерного излучения достигает максимальных значений. Таким образом, использование лазерного излучения с длиной волны 266 нм представляется наиболее эффективным из выбранного диапазона длин волн. Данный вывод находится в хорошем соответствии с экспериментальными данными, приведенными в [10].

Результаты расчетов полей температурных напряжений представлены в таблице 2.1. В таблице 2.1 σ_x обозначены напряжения, действующие вдоль оси X, σ_y – напряжения, действующие вдоль оси Y, σ_z – напряжения, действующие вдоль оси Z (рисунок 2.1).

Анализ данных, приведенных в таблице 2.1, показывает, что наибольших значений напряжения достигают при обработке алмаза лазерным излучением с длинами волн 266 нм и 532 нм и соответственно равны 129 МПа и 126 МПа в случае напряжений растяжения, 140 МПа и 145 МПа в случае напряжений сжатия. Данные значения напряжений не достигают критических значений,

Таблица 2.1 – Результаты расчетов моделирования полей температурных напряжений лазерной обработки кристаллов алмаза при различных длинах волн лазерного излучения

Вариант обработки		$\lambda = 266$ нм			$\lambda = 532$ нм			$\lambda = 1064$ нм		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
σ_x	растяжения	30,4	52,9	47,0	53,7	32,6	30,0	16,0	17,1	15,8
	сжатия	10,1	140,0	134,0	145,0	10,5	9,8	5,0	5,1	4,8
σ_y	растяжения	43,4	129,0	124,0	126,0	39,8	42,1	22,6	19,6	22,0
	сжатия	47,9	133,0	123,0	136,0	47,7	43,9	25,6	25,5	23,5
σ_z	растяжения	1,99	10,8	10,6	11,0	1,41	1,82	1,06	0,72	0,97
	сжатия	5,8	31,5	27,4	28,2	6,2	5,8	3,0	3,3	3,2

соответствующих пределу прочности алмаза. Однако в случае растягивающих напряжений их величина составляет порядка 50 % от критических значений [11].

Кроме этого, нужно отметить, что разница в величинах максимальных напряжений, формируемых при обработке лазерным излучением в исследуемых диапазонах, достигает 93 %, что должно быть принято во внимание при выборе параметров процесса лазерной обработки кристаллов алмаза.

Выводы

Выполнено компьютерное моделирование процесса лазерной обработки кристаллов алмазов под действием лазерного излучения с длинами волн 1064 нм, 532 нм и 266 нм. Выявлены особенности пространственной локализации соответствующих температурных полей. Показана целесообразность использования лазерного излучения с длиной волны 266 нм. Выполнен анализ расчетных значений термоупругих напряжений, который показывает необходимость учета анизотропии свойств алмаза при выборе параметров обработки. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации процесса лазерной обработки кристаллов алмаза.

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 ВТУЗов / А.И. Шкадов; под ред. А.М. Бочарова. – Смоленск, 1997. – Кн. 3: Физические основы лазерной обработки алмазов. – 288 с.

3. *Dependence of the diamond laser processing efficiency on crystallographic directions* / S.V. Shalupaev, E.B. Shershnev, Y.V. Nikitjuk, V.V. Sviridova // SPIE. – 2001. – Vol. 4358. – P. 329–333.

4. Шершнев, Е.Б. Моделирование лазерной обработки кристаллов алмаза / Е.Б. Шершнев, Ю.В. Никитюк, А.Е. Шершнев // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2011. – № 6 (69). – С. 164–168.

5. Особенности формирования термоупругих полей при лазерной обработке кристаллов алмаза / Е.Б. Шершнев, Ю.В. Никитюк, А.Е. Шершнев, С.И. Соколов // Проблемы физики, математики и техники. – 2015. – № 1 (22). – С. 38–40.

6. Шабров, Н.Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н.Н. Шабров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 212 с.

7. Коваленко, Л.Д. Основы термоупругости / Л.Д. Коваленко. – Киев: Наукова думка, 1970. – 307 с.

8. Карзов, Г.П. Физико-механическое моделирование процессов разрушения / Г.П. Карзов. – СПб.: Политехника, 1993. – 391 с.

9. Кривцов, А.М. Сравнение микромоделей описания упругих свойств алмаза / А.М. Кривцов, О.С. Лобода, С.С. Хакало // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2012. – №5. – С. 44–52.

10. Ходинский, А.Н. Исследование процесса и разработка установки для лазерной маркировки изделий из монокристаллических сверхтвердых материалов / А.Н. Ходинский, Е.Б. Шершнев, А.Е. Шершнев // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2006. – № 6 (39). – С. 156–159.

11. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / В.А. Кривоухов [и др.]; под ред. проф. П.Г. Петрухи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1974. – 616 с.

Поступила в редакцию 14.02.17.