

На рисунке 2 представлен пространственный профиль излучения лазера в месте установки исследованных образцов.

Измеренный диаметр пучка в перетяжке составлял $d_1 = 500$ мкм для длины волны $\lambda_1 = 1064$ нм и $\lambda_2 = 420$ мкм для длины волны $\lambda_2 = 532$ нм.

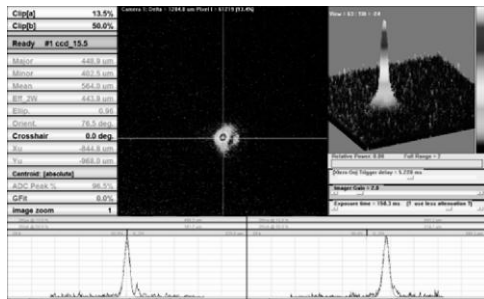


Рисунок 2 – Пространственный профиль лазерного пучка в перетяжке для длины волны 1064 нм

Для оценки плотности энергии оптического разрушения покрытий, для лазерных импульсов длительностью 1 нс и 10 нс, использовалось следующее соотношение:

$$S_2 \text{ LIDT} = S_1 \text{ LIDT} \sqrt{\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}}, \quad (1)$$

где $S_2 \text{ LIDT}$ – это расчетная пороговая поверхностная плотность энергии излучения при некоторой длительности импульса $\Delta\tau_2$; $S_1 \text{ LIDT}$ – измеренная пороговая поверхностная плотность энергии излучения при длительности импульса $\Delta\tau_1$.

Результаты экспериментов и расчетов для 4 образцов металлизированных отражательных оптических покрытий для излучения с длиной волны $\lambda_1 = 1064$ нм приведены в таблице 1.

Результаты экспериментов и расчетов для 4 образцов металлизированных отражательных оптических покрытий для излучения с длиной

волны $\lambda_1 = 532$ нм приведены в таблице 2 (образцы 1–4), в таблице 2 также представлен результат для просветляющего диэлектрического покрытия (образец 5).

Таблица 1

Номер образца	SLIDT ($\Delta\tau = 0,1$ нс), Дж/см ²	Расчет SLIDT	
		($\Delta\tau = 1$ нс), Дж/см ²	($\Delta\tau = 10$ нс), Дж/см ²
1	0,296	1,119	3,538
2	0,306	1,157	3,657
3	0,306	1,157	3,657
4	0,194	0,733	2,319

Таблица 2

Номер образца	SLIDT ($\Delta\tau = 0,1$ нс), Дж/см ²	Расчет SLIDT	
		($\Delta\tau = 1$ нс), Дж/см ²	($\Delta\tau = 1$ нс), Дж/см ²
1	0,349	1,319	4,171
2	0,257	0,971	3,072
3	0,263	0,994	3,143
4	0,092	0,348	1,1
5	1,31	4,951	15,657

В работе разработан и апробирован лабораторный комплекс для исследования лучевой прочности оптических покрытий. Проведены эксперименты на образцах просветляющих и отражающих покрытий для оптических элементов, применяемых в офтальмологии, определены пороги оптического разрушения для излучения с длинами волн 1064 нм и 532 нм. Разработанный комплекс может быть использован для оценки качества и надежности оптических покрытий; выбора оптимальных технологий их изготовления.

Литература

1. Агеева, Е. В. Оптические покрытия: физические основы, технологии, свойства / Е. В. Агеева. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
2. Крылов, Б. А. Лазерные повреждения оптических материалов и покрытий / Б. А. Крылов, С. А. Федоров. – М.: Наука, 2005. – 312 с.

УДК 53.072.8:681.7.069.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА КРОМКЕ ТОКАРНОГО РЕЗЦА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Федорцев Р. В.^{1,2}, Конопляников А. А.¹, Горбач Д. В.^{2,3}, Колоницкая В. Ю.^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет

²Национальный детский технопарк

³УП «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»

Минск, Беларусь

Аннотация. Проведено имитационное моделирование локального температурного воздействия лазерного излучения на 3D-объект и выполнена оценка градиента теплового распределения по поверхности инструмента. Расчетно-аналитическим методом определена температура T в зоне взаимодействия лазерного излучения с поверхностью режущей кромки проходного резца из стали марки AISI 321. Установлено, что при диаметре пучка 0,3 мм и глубине прогрева материала инструмента $dp = 0,17$ мм: при импульсном нагреве температура составила $T = 5,91 \cdot 10^4$ °C, а в непрерывном режиме температура нагрева составила $T = 4,62 \cdot 10^4$ °C.

Ключевые слова: имитационное моделирование, лазерный луч, температура, сталь, резец.

SIMULATION OF THERMAL PROCESSES AT THE EDGE OF A TURNING CUTTER UNDER THE INFLUENCE OF FOCUSED LASER RADIATION

Fiodartsau R. V.^{1,2} Konoplyanikov A. A.¹, Gorbach D. V.^{2,3}, Kolonitskaya V. Yu.^{1,2}

¹Belarusian National Technical University

²National Children's Technology Park

³UE "NTC "LEMT" BelOMO"

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A simulation modeling of the local temperature effect of laser radiation on a 3D object was performed, and an assessment of the gradient of thermal distribution over the tool surface was performed. The temperature T in the zone of interaction of laser radiation with the surface of the cutting edge of a turning cutter made of AISI 321 steel was determined using a calculation and analytical method. It was found that with a beam diameter of 0.3 mm and a heating depth of the tool material $dp = 0.17$ mm: with pulsed heating, the temperature was $T = 5.91 \cdot 10^4$ °C, and in continuous mode, the heating temperature was $T = 4.62 \cdot 10^4$ °C.

Keywords: Simulation modeling, laser beam, temperature, steel, cutter.

Адрес для переписки: Колоницкая В. Ю., ул. Богдана Хмельницкого 9, к.11а, г. Минск 220013, Республика Беларусь e-mail: bntu@bntu.by

Моделирование лазерного воздействия на поверхность инструмента – это комплексный процесс, включающий применение физических и математических моделей для прогнозирования и анализа результатов взаимодействия лазерного излучения с поверхностью инструмента, которое может вызвать поверхностную модификацию или упрочнение материала [1].

В работах ряда авторов проводились исследования по созданию математических моделей процесса закалки сканирующим лазерным излучением, например при возвратно-поступательном движении лазерного луча и поступательном движении детали. Выполнены расчет температурного поля при постоянной и переменной мощности лазерного излучения с целью снижения энергетических затрат [2]. Известны также математические модели, в которых исследование формирования температурного поля при упрочнении режущего инструмента импульсным лазерным излучением проводилось методом конечных элементов в программном пакете ANSYS Workbench [3].

Имитационное моделирование переноса тепловой энергии лазерного луча, проводили для резца проходного отогнутого 2102-0505 ГОСТ 18868-73 P6M5 (25 × 16 × 140). Моделирование проводилось в программном пакете Solidworks Flow Simulation. Было принято допущение, что теплопередача идет внутри твердых тел, за такой короткий промежуток времени воздействия на образец, количество рассеивания энергии в воздушной среде составляет ничтожно малое значение и стремится к нулю. При этом задачу рассматриваем как нестационарную, т. е. градиент температуры может меняться на соседних участках поверхности с течением времени.

Входные параметры системы.

Воздействие лазерного пучка осуществляется на кромку поверхности резца ограниченную площадкой 5 × 5 мм.

Радиус лазерного пучка в фокальной плоскости составляет $r = 0,15$ мм.

Скорость перемещения лазерного луча $v = 8$ мм/с.

Частота следования импульсов $f = 150$ Гц.

Длительность импульса $\tau = \frac{1}{f} = 6,67 \cdot 10^{-3}$ с.

Выходная мощность лазера $P = 1000$ Вт.

Энергия импульса $E = P/f = 7$ Дж.

Температура внешней среды и температура резца в исходном состоянии $T_0 = 20$ °C.

Периодичность воздействия на поверхность – однократный проход.

Материала резца Сталь Steel Stainless AISI 321.

Плотность материала $\rho = 7790$ кг/м³.

Теплопроводность $k = 17$ Вт/м*С.

Удельная теплоемкость $C = 504$ Дж/кг*С.

Температуропроводность $a = k / (C \cdot \rho)$;

$$a = 4,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коэффициент отражения $R = 0,63$.

Для указанной площадки 5 × 5 мм сформировали массив 16 × 16 элементов из окружностей $D = 0,3$ мм. Каждому элементу присвоили цифровое значение: построчно слева направо и последовательно для каждого столбца (рисунок 1).

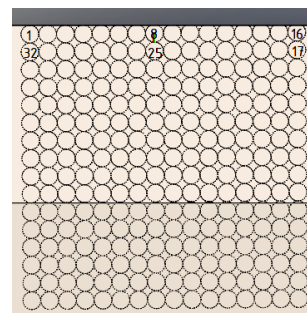


Рисунок 1 – Конечный вариант 3D модели резца

Каждой ячейке применяем условие поверхностного нагрева. Тогда глубина прогрева материала инструмента:

$$dp = \sqrt{a \cdot \tau} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,17 \text{ мм}.$$

Количество импульсов в точке:

$$p = D * f / v = 5,4.$$

Плотность мощности $q = E / (\tau * S) = 1,41 * 10^{10}$.

На первую ячейку у нас действует импульс с 0,005 секунды до 0,01, на вторую: с 0,01 до 0,015, на третью: с 0,015 до 0,02, и так далее. Временной шаг для регистрации расчетных данных системы задаем $5 \cdot 10^{-5}$ с. Таким образом, мы моделируем прохождение лазерного луча по поверхности площадки с его импульсным воздействием на материал (рисунок 2).

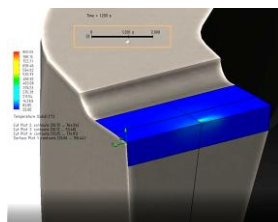


Рисунок 2 – Моделирование лазерного воздействия на кромку резца

Температура T в зоне взаимодействия лазерного излучения с поверхностью режущего инструмента:

при $r_0 \gg \sqrt{a \cdot \tau}$ импульсный нагрев

$$T = \frac{2q_0(1-R)\sqrt{a \cdot \tau}}{k\sqrt{\pi}} + T_0 = 5,91 \cdot 10^4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

при $r_0 \ll \sqrt{a \cdot \tau}$ непрерывный нагрев

$$T = \frac{q_0(1-R)r_0}{k} + T_0 = 4,62 \cdot 10^4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При таких высоких температурах материал с поверхности металла будет сублимироваться, т. е. мгновенно испаряться, минуя жидкую фазу.

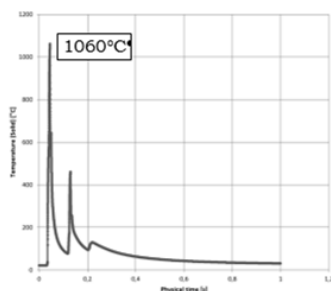


Рисунок 3 – Тепловыделение в точке № 8 на кромке резца

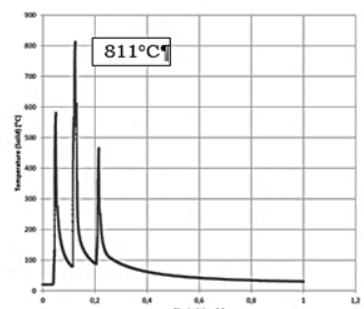


Рисунок 4 – Тепловыделение в точке № 25 на кромке резца

На рисунках 3 и 4 приведены результаты моделирования, отображающие графики распределения температуры в точках № 8 и 25 (осевой разрез на рисунке 1) за эффективное время воздействия лазерного луча на поверхность материала.

Наибольшее значение температуры наблюдается в краевой точке №8 поскольку тепловое рассеивание в материале резца для ее оказалось минимальным. Вторичные пики температур слева и справа от основного импульса представляют собой остаточный тепловой след от предыдущих точек воздействия.

Заключение. Проведено имитационное моделирование локального температурного воздействия лазерного излучения на кромку резца, которое показало, что распределение градиента теплового поля по поверхности инструмента происходит с экспоненциальным затуханием и требует учета остаточного тепла с соседних участков, подвергшихся лазерному воздействию.

Литература

1. Ярьско, С. И. Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства / С. И. Ярьско. – Самара: ФИАН, 2010. – 23 с.
2. Девойно, О. Г. Моделирование поверхностной закали с использованием сканирующего оптоволоконного лазера / О. Г. Девойно, В. В. Жарский, А. П. Пилипчук // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя фізіка-тэхнічных навук. – 2018. – Т. 63, № 4. – С. 435–443.
3. Ярьско, С. И. Моделирование процесса лазерного упрочнения режущего инструмента / С. И. Ярьско, Д. С. Горяинов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 4(3). – С. 921–926.

УДК 621.383.5

МОЩНЫЙ ФОТОДИОДНЫЙ МОДУЛЬ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ДО 20 ГГц С ОПТИЧЕСКИМ УСИЛЕНИЕМ

Чиж Н. А., Микитчук К. Б.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Беларусь

Аннотация. В данной работе предложена конструкция СВЧ-фотодиодного модуля на основе мощного InGaAs/InP $p-i-n$ СВЧ-фотодиода с частично обедненным поглощающим слоем и оптического усилителя на легированном эрбием волокне для радиопотонных систем генерации и передачи СВЧ-сигналов. В статье исследуются частотные и энергетические характеристики разработанного СВЧ-фотодиодного модуля