

2. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений // М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.

3. Заенцев И.В. Нейронные сети. Основные модели // Учебное пособие к курсу "Нейронные сети" для студентов 5 курса магистратуры к. электроники физического ф-та Воронежского Государственного университета. 1999

4. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей // 2007.

5. Тим Джонс М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях (M.TimJones - AIApplicationProgramming) // Пер. с англ. Осипов А.И. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 312 с: ил.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ ПРИ 3D – ПЕЧАТИ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ**

*Порохов Е.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

Технология селективного лазерного спекания имеет широкую область применения в различных отраслях. Детали, изготовленные по этой методики, могут использоваться как прототипы для оценки проекта и работоспособности изделия.

Относительно новым направлением, является изготовление готовых функциональных изделий методом СЛС. Изготовление готовых деталей при использовании данной методики занимает несколько часов, что намного дольше традиционных способов, применяемых в промышленности. Однако использование СЛС-технологии не требует отладки отдельного технологического процесса для каждого нового изделия, позволяет более гибко подбирать параметры нового изделия, что позволяет применять эту методику в очень широком спектре областей [1-3].

В работе [4] показано, что изменение параметров обработки вещества оказывает серьезное воздействие на качество готового изделия, его плотность и функциональные характеристики. Исследование посвящено определению влияния частоты следования

импульсов и скорости движения сканаторной системы на формирования первого слоя.

Относительно низкая частота следования импульсов, а значит и длительное время воздействия на вещество приводит к высокой плотности мощности в облучаемой зоне, и как следствие, к образованию плазмы. В результате происходит испарение порошка и на поверхности не образуется равномерного покрытия. Вследствие сил поверхностного натяжения возникают капиллярные явления на поверхности подложки, что приводит к образованию сферических форм. В целом, можно сделать вывод о том, что подбор оптимальных параметров воздействия на вещество основывается на расчете и поддержании определенного режима генерации лазерного излучения, а так же постоянной температуры в зоне воздействия, что позволит обеспечить высокое качество изготавливаемых изделий.

Основной задачей расчета параметров взаимодействия лазерного излучения с порошковым веществом является определение оптимальных параметров излучения и скорости движения сканаторной системы. Установка селективного лазерного спекания работает на основе иттербиевого одномодового лазера с высокой гибкостью регулирования параметров излучения:

Параметры лазерной системы

Таблица 1.

Тип лазера	Иттербиевый оптоволоконный
Длина волны, $\lambda$	1.07 мкм
Мощность излучения, P	0 – 500 Вт
Скорость движения сканатора, v	0 – 12 м/с
Диаметр зоны воздействия, d	100 мкм

Объектом воздействия является микродисперсный порошок нержавеющей стали, который имеет широкое применение в СЛС-технологиях для изготовления различных промышленных изделий и деталей.

Для получения основных оптических параметров вещества: коэффициент поглощения ( $\mu$ ) и показатель рассеяния ( $\beta$ ) воспользуемся теорией Ми рассеяния на сферических частицах. При помощи программного пакета MePlot рассчитаем относительные коэффициенты рассеяния и поглощения на сферических частицах различного диаметра. Исходными параметрами являются: показатель преломления  $n=2.96$ , диаметр частиц от 0.01 – 100 мкм, расчет производится для длины волны излучения  $\lambda = 1.07$  мкм. На рисунке 1 продемонстрированы

результаты расчета относительных коэффициентов для разных диаметров частиц.

Средний радиус частиц исследуемого порошка составляет  $r = 20$  мкм. Соответственно, рассчитанные коэффициенты имеют значения:  $Q_{scat} = 1.569$ ,  $Q_{abs} = 0.542$ . Для определения показателя поглощения и коэффициента рассеяния воспользуемся формулами:

$$\mu = Q_{abs} * \pi * r^2 * n_c, \quad (4)$$

$$\beta = Q_{scat} * \pi * r^2 * n_c, \quad (5)$$

где  $r$  – радиус одной частицы,  $n_c$  – концентрация частиц в объеме порошка. В результате расчета имеем:  $\mu = 288.6$ ,  $\beta = 835.5$ .

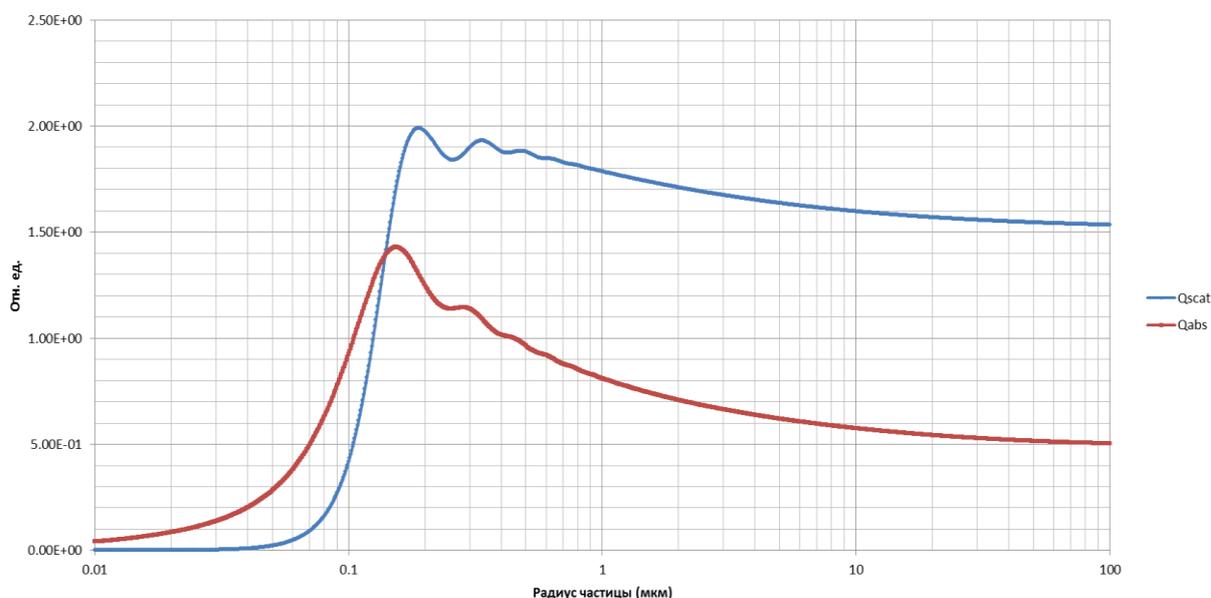


Рис. 1. Значения относительных коэффициентов поглощения  $Q_{abs}$  и рассеяния  $Q_{scat}$  на сферической частице, рассчитанных в зависимости от радиуса частиц.

При помощи метода Монте-Карло можно довольно точно рассчитать доли поглощенной энергии  $A(z)$  на различной глубине исследуемого объекта, распределение фотонов излучение в веществе. Таким образом, можно прогнозировать результаты взаимодействия, а так же, определить эффективную глубину проникновения лазерного излучения  $z_{ef}$ . Для расчета был использован программный пакет MCML.

Целью данных расчетов является определение процента поглощенной энергии лазерного излучения порошковым слоем в 100 мкм на различной глубине. Таким образом, можно понять, какая энергия будет необходима для расплава всего слоя, и каким образом будет убывать энергия с увеличением глубины воздействия.

На рисунке 2 изображена зависимость доли поглощенной энергии от глубины воздействия. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что энергия убывает экспоненциально. Характер убывания приближен к закону Бугера и соответствует практическим исследованиям.

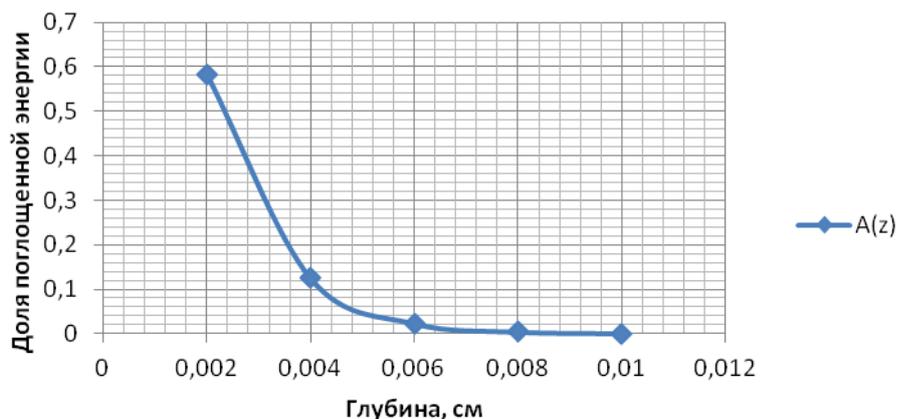


Рис. 2. Доля поглощенной энергии в зависимости от глубины воздействия

Для того, чтобы определить, какую энергию необходимо затратить, чтобы расплавить весь слой вещества на площади диаметром в 100 мкм, необходимо рассчитать эффективную глубину проникновения лазерного излучения. Для этого составим логарифмическую шкалу доли поглощенной энергии на различной глубине.

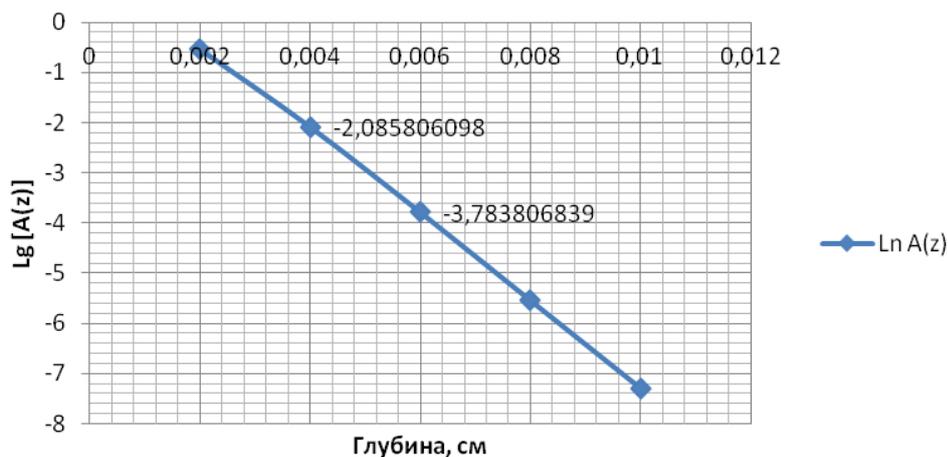


Рисунок 3. Логарифмическая шкала зависимости доли поглощенной энергии от глубины проникновения лазерного излучения

Для нахождения эффективной глубины проникновения лазерного излучения  $z_{ef}$  воспользуемся формулой:

$$z_{ef} = \frac{z_1 - z_0}{Lg(A_1) - Lg(A_0)}, \quad (1)$$

Произведя расчет, имеем:  $z_{ef} = 33$  мкм.

Зная параметры поглощенного веществом потока лазерного излучения, а также теплофизические константы материала, можно оценить температуру нагрева вещества, а так же количество энергии, необходимой для расплава все слоя.

Для определения необходимой энергии нагрева и расплава слоя вещества необходимо определить объем зоны проникновения лазерного излучения и прогретого слоя:

$$V = \frac{\pi(d + \sqrt{\alpha t_i})}{4(\sqrt{\alpha t_i} + z_{ef})}, \quad (2)$$

Видно, что объем зоны прогрева зависит, прежде всего, от времени воздействия лазерного излучения. Так как, система позволяет гибко регулировать скорость движения сканаторной системы, есть возможность регулировать время воздействия, которое будет определяться отношением скорости движения лазерного луча к диаметру зоны воздействия ( $\tau_i = \frac{d}{v}$ ).

Для того, чтобы определить, какую энергию необходимо затратить для нагрева и расплава вещества, воспользуемся традиционным уравнением:

$$, \quad (3)$$

где  $\lambda$  - удельная теплота плавления,  $\rho$  - плотность порошка,  $V$  – объем зоны расплава,  $C$  – удельная теплоемкость. Контролировать объем зоны расплава и количество затрачиваемой энергии можно при помощи регулирования скорости движения сканаторной системы и энергии лазерного излучения. Таким образом, все данные поставленной задачи являются взаимозависимыми.

По результатам моделирования и расчета можно сделать вывод, что оптимальным режимом воздействия будет скорость движения сканатора 0.07 м/с, мощность лазерного излучения 25 Вт. С учетом того, что доля поглощенной энергии лазерного излучения составляет 75%. Количество энергии, затрачиваемой на прогрев и расплав слоя вещества при этом режиме воздействия составляет 0.027 Дж, а глубина воздействия 98,3 мкм.

## Список информационных источников

1. Сапрыкин А.А., Дудихин Д.В., Бабакова Е.В. Перспективы создания изделий методом селективного лазерного спекания // Актуальные проблемы современного машиностроения. 2014 С.14-16.
2. Григорьев С.Н., Грибков А.А. Оптимизация точности элементов дозирующей системы // Техника и технология. 2006. № 5. С.73-79.
3. Назаров А.П. Особенности конструкции машин для селективного лазерного спекания // Вестник МГТУ «Станки» № 1 (24), 2013. С. 76 – 79.
4. Харанжевский Е.В., Ипатов А.Г., Николаева И.С. Влияние параметров обработки на плотность покрытий из твердого сплава, полученного короткоимпульсным селективным лазерным спеканием // Вестник Удмуртского университета Вып. 1, 2014 С. 51 – 56.
5. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П., Физические основы лазерной обработки материалов // Издательство Томский политехнический университет 2011 С. 10 – 12.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ

*Толмачев И.В., Пеккер Я.С., Пронькина Е.М.  
Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Пеккер Я.С., к.т.н., профессор кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Анализ движения является одним из наиболее прогрессирующих направлений в клинической биомеханике. Поскольку в управлении движениями принимают участие многие отделы ЦНС, нарушения координации движений могут быть использованы в целях диагностики. Они проявляются нарушениями устойчивости при стоянии и ходьбе, асимметрией движений правой и левой стороны, нарушениями точности движений, снижением силы и уменьшением скорости.

В настоящее время методы анализа движения быстро развиваются под действием технологического прогресса, который повышает точность измерений и дает возможность фиксировать новые параметры, которые до этого момента были не доступны. Одним из значительных прорывов последних лет стало развитие видеосистем, а именно, увеличение частоты смены кадров и их разрешение. Это позволило