



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Университета ИТМО

д.т.н. профессор

В.О. Никифоров

марта 2016 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» на диссертацию Али Едрес Абдулвахаб Салех «Упрочнение режущей кромки медицинского инструмента приповерхностным наносекундным импульсным лазерным оптическим разрядом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

### Актуальность темы

Необходимость повышения ресурса работы режущих медицинских инструментов обусловлена жесткими условиями их эксплуатации. В процессе интенсивной эксплуатации режущие инструменты подвергаются абразивному износу, коррозионному воздействию и термическим нагрузкам при стерилизации, что существенно снижает остроту лезвия и делает инструмент непригодным для точного рассечения тканей. В связи с этим, актуальной задачей является разработка методов упрочнения медицинских скальпелей. Упрочнение является технологическим процессом, целью которого является, прежде всего, повышение микротвёрдости и износостойкости поверхности.

Известно большое количество устоявшихся способов упрочнения поверхностных слоев металлического медицинских инструментов: азотирование, изотермическое упрочнение, плазменная обработка, нанесение защитно-декоративных покрытий, лазерная термическая и ударная закалка. Однако, к настоящему времени упрочнение под действием ударной волны, вызванной лазерным импульсным оптическим разрядом в среде, изучено не в полной мере.

Отсутствие в достаточной мере теоретических и практических исследований лазерного упрочнения поверхности медицинских скальпелей, а также сложность процессов взаимодействия лазерного импульсного оптического разряда определяют актуальность темы диссертации.

## **Научная новизна результатов, полученных автором диссертации**

1. Предложен метод увеличения срока эксплуатации медицинского инструмента путем упрочнения приповерхностным импульсным оптическим разрядом и одновременным локальным воздействием на поверхность рабочей кромки ударной волной.

2. Установлена зависимость микротвердости медицинского инструмента (скальпеля) от параметров наносекундного лазерного приповерхностного импульсного оптического разряда на основе применения центрального ортогонального плана эксперимента 2-го порядка.

3. Научно обоснованы параметры, при которых достигается микротвердость 550,3 HV рабочей кромки медицинского скальпеля, в результате воздействия наносекундного лазерного приповерхностного импульсного оптического разряда: частота лазерных импульсов 5 [Гц]; энергия лазерных импульсов 0,25 [Дж], продолжительность единичного импульса 10 [нс] при общем времени воздействия лазерных импульсов  $t=10$  [с].

## **Достоверность результатов исследования**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается согласованностью экспериментальных исследований, проведенных на оригинальной установке, с результатами численных расчетов, полученных с использованием актуальных программных средств, математических и технических расчетов с использованием программного обеспечения Statistica.

## **Теоретическая и практическая значимость работы**

Разработан подход к упрочнению поверхности медицинского инструмента на основе лазерного импульсного оптического разряда, позволяющая увеличить твердость рабочей кромки скальпеля в 1,4–1,8 раза, а износостойкость в 1,5 раза.

Результаты, полученные автором, дополняют имеющиеся теоретические представления о развитии технологии лазерного упрочнения и его применения в современных методах введения теоретических и экспериментальных результатов создания системы упрочнения и сопоставительного анализа, включающих механизм оптимизации уравнения регрессии, связывающей микротвердость обработанной поверхности от режимов работы импульсного лазера, алгоритма анализа факторов, влияющих на процесс упрочнения наносекундным лазерным приповерхностным импульсным оптическим разрядом.

## **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация включает: введение, пять глав, заключение, перечень условных сокращений, библиографический список из 132 наименований.

**В первой главе** проведен анализ литературы и дано описание современного

состояния исследований в области упрочнения материала с применением лазера. Было выявлено, что обработка поверхности медицинского инструмента (скальпеля) с применением импульсного оптического разряда остается малоизученной.

**Во второй главе** рассмотрены методы исследований поверхности медицинского инструмента (скальпеля). Приведена схема экспериментальной установки для упрочнения исследования поверхности медицинского инструмента за счет воздействия импульсного лазерного оптического разряда. Описана методика подготовки микрошлифов для металлографических исследований микроструктуры поверхности после лазерного воздействия.

**В третьей главе** установлено, что упрочнение поверхности скальпеля достигается при длительности лазерного воздействия 10 секунд. С помощью методов математического планирования было получено уравнение регрессии. Найдены режимы лазерной обработки, позволяющие получить упрочнение поверхности медицинского инструмента до 550,3 HV.

**В четвертой главе** представлена лабораторная установка для изучения процесса развития ударной волны импульсного оптического разряда на поверхности медицинского инструмента. Выполнено математическое описание процесса. С использованием шлирен-метода экспериментально определена скорость распространения ударной волны импульсного оптического разряда.

**В пятой главе** описан эскиз предлагаемой установки для промышленного упрочнения поверхности медицинского инструмента импульсным оптическим разрядом.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать на предприятиях по производству медицинских инструментов для финишной упрочняющей обработки режущих кромок скальпелей из стали 40X13. Методика измерения параметров ударной волны (скорости, давления) может быть применена при разработке технологических процессов лазерного упрочнения других видов медицинского и промышленного режущего инструмента.

Полученные экспериментальные данные и математическая модель (уравнение регрессии) имеют значимость в учебном процессе при проведении лабораторных работ профильными кафедрами вузов (например, направления «Лазерная техника и лазерные технологии», «Материаловедение», «Биомедицинская инженерия»), а также в научных исследованиях, направленных на изучение взаимодействия лазерного излучения с поверхностью металлов.

### **Анализ публикаций и автореферата**

Материалы, отражающие основное содержание диссертации, изложены в 14 научных публикациях, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ, соответствующих специальности 2.5.5. Технология и

оборудование механической и физико-технической обработки, оформлена заявка на патент №2023123246/05.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновационный путь развития как ответ на вызовы нового времени» (Киров, 2023 г.); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Стратегическое развитие отечественной науки: национальное самосознание, скрытые конкурентные преимущества» (Саратов, 2023 г.); Международная научно-практическая конференция «Sustainable development forum» (Петрозаводск, 2024 г.); Международная научно-практическая конференция «Теории, школы и концепции устойчивого развития науки в современных условиях» (Омск, 2024г.); Международная научно-практическая конференция «Научный форум» (Пенза, 2024); Международная научно-практическая конференция «Молодой исследователь 2024» (Пенза, 2024); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Здоровье человека в XXI веке. Качество жизни» (Казань, 2023 г.); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Здоровье человека в XXI веке. Качество жизни» (Казань, 2024 г.); и на научных сессиях по технологическим процессам ФГБОУ ВО «КНИТУ» (Казань, 2020-2024 г.).

### **Замечания по диссертационной работе**

В работе присутствуют отдельные недостатки:

1. В главе 2 написано: «Приведена схема и методика рентгеноструктурного анализа». Описания схемы и методики рентгеноструктурного анализа в работе замечено не было. В главе 3 представлены выводы по структуре и составу стали: «Повышение микротвердости связывается с формированием на поверхности слоя мартенсита с полным растворением аустенита». Необходимо уточнить, на основе каких методик и экспериментальных данных были сделаны данные выводы.

2. В положении 3 написано: "Оптимальный режим лазерного упрочнения, при котором достигается максимальная микротвердость рабочей кромки медицинского скальпеля <...>". В работе рассмотрен следующий диапазон значений частоты следования импульсов: 5 – 20 Гц. При значении 5 Гц получено наибольшее значение микротвердости. Из этого можно сделать вывод, что при лазерной обработке при частоте следования импульсов менее 5 Гц возможно еще большее повышение микротвердости, но данные исследования не приведены в работе.

3. Поясните, как были оценены результаты коррозионных испытаний. По рисунку 3.11 можно сделать также и выводы, что следы очагов коррозии присутствуют на всех образцах. Не вполне понятно, как визуально были отличены очаги коррозии от результатов оплавления? Приведены ли микрофотографии поверхности стали до коррозионных испытаний?

4. Вызывает сомнения использованный в Главе 4 метод определения диаметра пучка по диаметру единичного кратера на материале с высокой теплопроводностью (Рисунок 4.3). В случае если диаметр пучка действительно

составляет 1 мм, тогда может быть усмотрено несоответствие с условиями возбуждения оптического разряда в среде ( $1 - 3 * 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> при диаметре пучка 100 мкм, как указано в разделе 2.2).

5. Не вполне понятно, почему в Главе 4 рассматривается распространение ударной волны в газовой среде, если фокусировка излучения осуществлялась на образце, и интересующая волна очевидно распространялась в упрочняемом материале, имеющем отличные от воздуха акустические свойства. На рисунке 4.5 не отмечены области нахождения образца и область фокусировки, не приведена масштабная плашка, не указаны временные масштабы, что не позволяет проанализировать релевантность полученных результатов.

6. Во 2 и 4 главах читается, что плоскость фокусировки совпадает с поверхностью скальпеля. На рисунке 5.1 плоскость фокусировки выше. Необходимо пояснить, где находится плоскость фокусировки, и какая длина перетяжки в экспериментальной установке. В случае, если длина перетяжки превышает расстояние, на которое поверхность образца отстоит от плоскости фокусировки, необходимо уточнить, как именно исключается термическое воздействие лазерного излучения на образец.

7. Глава 5 называется «Разработка установки для промышленного упрочнения поверхности медицинского инструмента импульсным оптическим разрядом». В главе присутствует лишь описание концепции данной установки и упрощенный эскиз. На эскизе отсутствуют система отслеживания объектов, система погрузки / разгрузки объектов. В работе не приведена оптическая схема лазерной установки. Из работы не понятно, была ли разработана данная установка, были ли проведены ее испытания и пр.

8. Достоверность полученных данных требует дополнительного уточнения, так как на графиках 3.2, 3.6, 3.7а отсутствуют плашки погрешности, на микрофотографиях 3.7б-в, 3.8, 3.10, 3.11, 3.14, 4.5 и в таблице 3.4 масштабные плашки отсутствуют или нечитаемы.

9. В работе присутствуют многочисленные стилистические, орфографические и пунктуационные ошибки, например: «чИстота излучения импульсного лазера», «Лазер имеет поверхностную закалку» и др., а также нарушения нумерации (отсутствующие рисунок 3.15, формула 4.9).

Отметим, что указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Али Едрес Абдулвахаб Салех «Упрочнение режущей кромки медицинского инструмента приповерхностным наносекундным импульсным лазерным оптическим разрядом» на соискание ученой степени кандидата технических наук выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну, полученные результаты имеют практическую ценность.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, а выдвигаемые для публичной защиты положения имеют научное и практическое значение. Полученные автором результаты в целом достоверны и проверены экспериментально. Диссертация является итогом целенаправленной самостоятельной работы и свидетельствуют о способности автора решать сложные научные и технические задачи.

Диссертационная работа Али Едрес Абдулвахаб Салех «Упрочнение режущей кромки медицинского инструмента приповерхностным наносекундным импульсным лазерным оптическим разрядом» отвечает требованиям п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и рекомендуется к защите по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Отзыв на диссертацию и материалы исследований рассмотрены и одобрены на расширенном заседании Института лазерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

Протокол № 03/26 от «25» марта 2026 г. Присутствовало 17 чел. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Кандидат технических наук  
старший научный сотрудник,  
директор Института лазерных технологий,  
Романова Галина Викторовна



Кандидат технических наук  
старший научный сотрудник,  
доцент Института лазерных технологий,  
Синев Дмитрий Андреевич



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»  
Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А  
Телефоны: отдел управления делопроизводством (канцелярия): +7 (812) 480-00-00  
E-mail: od@itmo.ru