

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»  
Кафедра лазерной и световой техники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
СОЗДАНИЕ УПРОЧНЕННЫХ ОЧАГОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

УДК 669.141.24:621.372.826

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В21	Дао Дык Ань		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Илья Юрьевич Зыков	к. ф.-м. н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Е. А. Грахова	к. т. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	О. Б. Назаренко	д. т. н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф. ЛИСТ	А. Н. Яковлев	к. ф.-м. н.		

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки 12.03.02 «ОпTOTехника»  
Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А. Н. Яковлев

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме

\_\_\_\_\_ *выпускная квалификационная работа*

Студенту

\_\_\_\_\_ *группы 4B21*

\_\_\_\_\_ *Дао Дык Ань*

Тема работы:

\_\_\_\_\_ *СОЗДАНИЕ УПРОЧНЕННЫХ ОЧАГОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ УГЛЕРОДИСТОЙ  
СТАЛИ ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ*

утверждена приказом директора ИФВТ \_\_\_\_\_

срок сдачи студентом готовой работы \_\_\_\_\_

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе

\_\_\_\_\_ *Объектом исследования является структура металла после лазерного воздействия. Закалка металла осуществляется лазерной технологической установкой «BlackLight» на основе твердотельного неодимового лазера. В рамках работы проводилось создание уединенных очагов лазерного воздействия и изучение их структуры и свойств.*

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

\_\_\_\_\_ *Пластическая деформация металлических материалов связана с макроскопической неоднородностью пластического течения материала, т.е. деформация развивается локализовано, а картины локализации зависят от стадийности кривой нагружения. В рамках предположения о возможности влиять на картины локализации деформации и стадийность кривой нагружения путем создания системы локализованных очагов упрочнения необходимо исследовать возможность создания таких очагов и их структуру, и характеристики.*

Перечень графического материала

*Диаграмма железо-углерод, внешний вид установки, внешний вид очагов, структура металла в очаге (желательно), распределение микротвердости.*

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*Финансовый менеджмент... Е. А. Грахова, ассист. каф. менеджмента ИСГТ*

*Социальная ответственность О. Б. Назаренко, профессор каф. ЭБЖ*

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику *17.09.2015 г.*

Задание выдал руководитель

*доцент И. Ю. Зыков*

*к. ф.-м. н.*

\_\_\_\_\_ . . . . .

Задание принял к исполнению:

*гр. 4В21 Дао Дык Ань*

\_\_\_\_\_ . . . . .

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 73 страницы, 11 рисунков, 18 таблиц, 3 графика, 13 источников.

Ключевые слова: импульсное лазерное излучение, лазерная закалка стали, углеродистые стали, упрочненные очаги, микротвердость стали.

Объектом исследования является поверхность углеродистой стали после упрочнения импульсным лазерного излучения.

Цель работы – изучение характеристики упрочненных очагов, созданных в углеродистой стали импульсным лазерного излучения.

В процессе исследования проводились исследования и измерения микротвердости.

В результате исследования изучены параметры упрочненных очагов.

Степень внедрения: в перспективе.

Область применения: изучение влияния упрочненных очагов на пластичность материала.

В будущем планируется изучение влияние очагов на пластичности стали.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
1. Теоретические основы исследования упрочнения поверхностного слоя стали.....	10
1.1. Механические методы поверхностного упрочнения стали.....	10
1.1.1. Параметры состояния поверхностного слоя стали.....	10
1.1.2. Структурные несовершенства в реальных кристаллах .....	13
1.1.3. Образование и размножение дислокаций.....	15
1.2. Лазерное упрочнение .....	16
1.2.1. Принцип упрочнения.....	16
1.2.2. Технологический процесс лазерного упрочнения определяется следующими входными параметрами и характеристиками .....	18
1.2.3. Лазеры, применяемые для упрочнения.....	19
1.2.4. Особенности технологии лазерного упрочнения выгодно отличаются от других методов закалки .....	20
1.3. Лазерная закалка.....	22
1.3.1. Цели лазерной закалки металла.....	22
1.3.2. Режимы лазерной закалки.....	22
1.4. Классификация упрочнения .....	23
1.4.1. Электронно-лучевое упрочнение .....	23
1.4.2. Плазменное и детонационное упрочнение.....	24
Применение: .....	26
1.4.3. Вакуумное ионно-плазменное упрочнение.....	26
1.5. Области применения технологии лазерного упрочнения .....	29
Выводы по первой главе .....	32
2. Экспериментальные исследования упрочнения поверхностного слоя стали.....	33
2.1. Лазерный комплекс .....	33
2.2. Исследуемые материалы.....	34
2.3. Рентгеноструктурный анализ .....	35
2.4. Определение микротвердости .....	35
2.5. Результаты и обсуждение .....	36
Выводы по второй главе .....	41
3. Задание для раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	42
4. Задание для раздела «социальная ответственность» .....	56
Заключение.....	70
Список использованных источников и литературы.....	71

## **Введение**

Ответственные детали современных машин и механизмов подвергаются повышенным нагрузкам, что приводит к быстрому износу деталей. Долговечность их использования зависит не только от материала, из которого изготовлены детали, но и от способа их изготовления и от предварительной обработки поверхностей, подвергаемых нагрузкам. Исследование методов формирования износостойких поверхностных структур является важной задачей.

Существует множество способов модификации поверхности сталей, но одним из самых перспективных способов является лазерная обработка. По сравнению с традиционными способами обработки поверхности (газопламенная закалка, индукционная закалка, цементация, азотирование, нитроцементация, различные наплавки твердыми сплавами) модификация поверхности с помощью лазера обладает рядом преимуществ при решении триботехнических задач для обеспечения работоспособности поверхностей трущихся деталей [8, 11, 13]. Неоспоримыми преимуществами лазерной закалки является возможность обработки локальной зоны и быстрые нагрев и охлаждение зоны, подвергающейся обработке [4, 10].

**Актуальность** нашего исследования связана с тем, что эффективность и надежность детали, предусмотренных преследующих основных требований: прочность, герметичность и устойчивость к различным воздействиям (износ, вибрация, температуры и т.д.). Следовательно, исследование структуры и характеристики поверхности стали после упрочнения лазерным излучением имеет важное значение, чтобы определить долговечность материала.

В нашей работе исследуются очаги упрочнения поверхностного слоя стали, создаваемые лазерным излучением с целью влияния на локализацию пластической деформации.

**Объектом** нашего исследования является поверхность углеродистой стали после упрочнения импульсным лазерного излучения.

**Предметом** исследования выступают параметры упроченных очагов, их особенности и употребления.

**Цель** данного исследования заключается в выявлении структуры и характеристики упроченных очагов, созданных в поверхностном слое углеродистой стали импульсами лазерного излучения.

Цель работы обусловила необходимость решения следующих **задач**:

1) Систематизировать теоретические основы упрочнения поверхностного слоя стали, в том числе с применением лазерного излучения;

2) Изучить структуру и параметры упроченных очагов;

Проанализировать структуру очагов металлографическим и рентгеноструктурным методом;

Определить распределение микротвердости стали в очаге;

Сравнить результаты измерения микротвердости двух видов сталей У12 и Х12;

3) Исследовать назначение «социальной ответственности»;

4) Просматривать финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

**Материалами** для исследования послужили сталь марки У12 – инструментальная углеродистая сталь (содержание углерода 1,16 - 1,23 %); сталь марки Х12 – инструментальная легированная сталь (содержание углерода 2 - 2,2 %, содержание хрома 11,5 – 13 %).

В качестве лазерного источника излучения использовали твердотельный Nd: YAG лазер, работающий в импульсном режиме с длиной волны излучения 1,064 мкм и длительностью импульса 12 мс и плотностью мощности 23,4 кВт/см<sup>2</sup>.

**Методы исследования:** общенаучные приемы непосредственно-наблюдения, металлографические исследования, рентгеноструктурный анализ, измерение микротвердости, систематизации, классификации, интерпретации, прием компьютерной обработки текста, метод физического и механического анализа, прием сплошной и частичной выборки материала.

Курсовая работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и литературы. В первой главе рассматриваются теоретические основы исследования параметров поверхностного слоя стали, разрабатываются изменения структуры и параметры поверхностного стали под действием лазерного излучения и охарактеризуется микротвердость стали после упрочнения, а также выясняются классификация упрочнения и области применения технологии лазерного упрочнения. Во второй главе составляются экспериментальные исследования упрочнения поверхностного слоя стали. Разделы главы описаны лазерный комплекс и исследуемые материалы, проанализированы рентгеноструктурный метод, определена микротвердость стали и посвящены результатам. В третьей главе рассмотрена проблема о социальной ответственности. В последней главе изучены финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

## **1. Теоретические основы исследования упрочнения поверхностного слоя стали**

### **1.1. Механические методы поверхностного упрочнения стали**

По мнению Т.Ю. Степанова, необходимо создавать долговечные машины для того, чтобы разрабатывать современные конструкционные решения и применять новые высокопрочные материалы в процессе изменений поверхностного слоя деталей машин [12].

Посредством поверхностного пластического деформирования, подразделяющегося на сглаживающее и упрочняющее, мы можем получать качественную поверхность стали со стабильными показателями.

#### **1.1.1. Параметры состояния поверхностного слоя стали**

Поверхностный слой стали представляет собой слой, структура, фазовый и химический состав не такой же, как базовый материал, из которого изготовлена деталь.

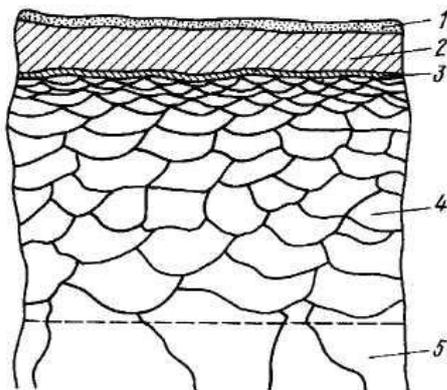


Рис. 1.1. Схема поверхностного слоя детали [12]

Поверхностный слой детали состоит из следующих основных зон (рис. 1.1):

- 1) Адсорбированных из окружающей среды молекул и атомов органических и неорганических веществ. Толщина слоя  $1 \pm 0,001$  мкм;
- 2) Продуктов химического взаимодействия металла с окружающей средой (обычно оксидов). Толщина слоя  $10 \pm 1$  мкм;
- 3) Граничная толщиной несколько межатомных расстояний, имеющая иную, чем в объеме, кристаллическую и электронную структуру;

- 4) С измененными параметрами по сравнению с основным металлом;
- 5) Со структурой, фазовым и химическим составом, который возникает при изготовлении детали и изменяется в процессе эксплуатации [12].

Можно изменять толщину этих слоев и состояние поверхностного слоя в соответствии с составами материала, методом обработки и условиями эксплуатации. На практике набор простых или сложных свойств оценивает состояние и качество поверхностного слоя. Для того, что осуществлять оценку состояния можно разделить на некоторые основные методы: метод физического, химического и механического анализа.

Т.Ю. Степанова заметила, что «Многообразие параметров состояния поверхностного слоя и методов их оценки не позволяет выделить единственный параметр, определяющий качество поверхностного слоя».

Эти параметры характеризуют:

- 1) геометрические параметры неровностей поверхности;
- 2) физическое состояние;
- 3) химический состав;
- 4) механическое состояние [12].

Используя **геометрические параметры неровностей поверхности**, мы можем разделить на некоторые параметры, такие как параметр шероховатости, параметр регулярных микрорельефов и параметр волнистости.

Более конкретно, шероховатость поверхности является совокупностью неровностей с относительно малыми шагами. Вместе с тем волнистость поверхности представляет собой совокупность неровностей с большим шагом, чем базовая длина, которую используют с целью измерения шероховатость. В отличие от параметров шероховатости и волнистости регулярные микрорельефы называют одинаковыми неровностями по форме, размерам и взаиморасположению.

Таблица 1 – Параметры состояния поверхностного слоя и их свойства

Параметры	Свойства
Шероховатость поверхности	Примерное отношение высоты неровностей к шагу менее 50.
Волнистость поверхности	Отношение высоты к шагу более 50 и менее 1000.
Регулярные микрорельефы	Неровности одинаковы по форме, размерам и взаиморасположению.

Рассматривая о **физическом состоянии поверхностного слоя стали** в технологии упрочнения, как правильно, употребляют параметры структуры и фазового состава. Физическое состояние свойственно числу и концентрациям фаз, распределению фаз по поверхностному слою, объему сплава и др. Для исследования физического состояния используются два экспериментальных метода (*дифракционные* и *микроскопические*) физики твердого тела.

В этом случае, структура является характеристикой металла, которая зависит от методов для изучения его строения. Она включает в себя ряд типов структур: кристаллическая структура (необходимо использовать кристаллы с трехмерной периодичностью, в пространстве трехмерной решетки располагаются атомы, структуры чистых металлов разделяются на ряд типов (рис. 1.2), субструктура (кристаллы могут образовывать более крупные фрагменты – кристаллиты, блоки, зерна, фрагменты, полигоны. Размер субмикрозерна:  $10^{-2} \div 10^{-5}$  см), микроструктура (нужно определить наличие, количество и форму структурных составляющих сплава, размер субзерна:  $10^{-3} \div 10^{-4}$  см), и макроструктура (надо определяться невооруженным глазом или при небольших увеличениях, определять трещины, неметаллические включения, примеси и др.).

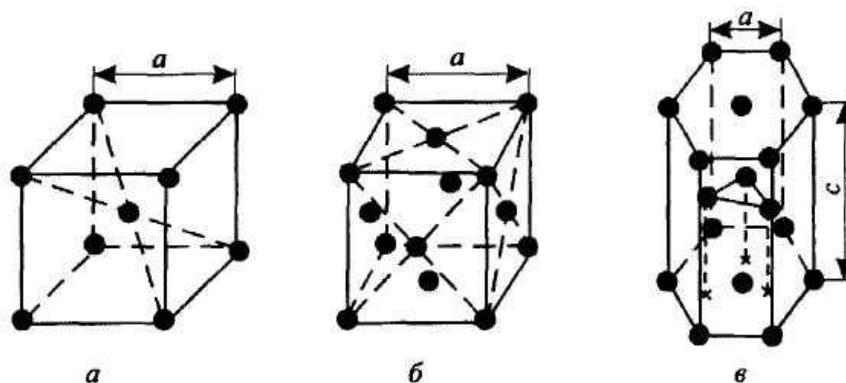


Рис. 1.2. Типы кристаллической структуры:

а – объемно – центрированная кубическая; б – гранецентрированная кубическая; в – гексагонально-плотноупакованная [12]

В отличие от геометрических параметров неровностей поверхности и физического состояния, **химический состав** присуще свойство концентрации элементов в объеме фаз, сплава, элементных составов сплава и фаз, и др. Кроме того, изучение химического состава предназначается для определения диффузионных процессов, процессов окисления и других, происходящих при обработке металлов. В связи с тем, мы видим, что исследование химического состава поверхностного слоя детали машин помогает оценить адсорбцию из атомов органических и неорганических веществ, а также окружающей среды молекул.

**Механическое состояние металла** осуществляется определением параметров, таких как:

- пластичность: относительное сужение, относительное удлинение, ударная вязкость и другие, которые устанавливают специальными испытаниями образцов;

- сопротивление деформированию: твердость, предел упругости, предел текучести, предел пропорциональности, предел прочности и др. [12].

### 1.1.2. Структурные несовершенства в реальных кристаллах

Для того чтобы упрочнять и разрушать металл при обработке, необходимо изучать наличие структурных несовершенств в реальных кристаллах. Согласно современным точкам зрения на строение металла, существует значимое различие между теоретической и физической

прочностью, которая объясняется структурными несовершенствами металлов. По мнению Т.Ю. Степановы кристаллизация металла, термическая обработка, пластическая деформация и другие проводят к структурным несовершенствам в кристаллах.

В зависимости от работы Т.Ю. Степановы «Технологии поверхностного упрочнения деталей машин» структурные несовершенства кристалла по геометрическому признаку выделяют 4 основные группы:

- 1) точечные,
- 2) линейные,
- 3) поверхностные (плоские)
- 4) объемные [12].

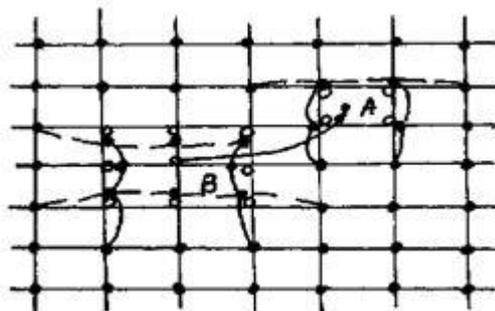


Рис. 1.3. Точечные дефекты в плоскости простой кубической решетки:

A – дислоцированный атом; B – вакансии [12]

В сравнении с размерами атома по своим размерам точечные несовершенства в структуре кристалла включают в себя два типа (рис. 1.3): вакансии и межузельные атомы. Возможности образуются вакансии, связанные с исключением атома из узла решетки и внедренного атома с созданием атома в интерстициальном пространстве.

Создание вакансий и межузельных атомов в связи с тем, что колеблющиеся вокруг положения равновесия атомов могут влиять наружу введенной энергии из положения равновесия, создание после себя в самом узле решетки пустот (вакансии) и, соответственно, внедренный атом. Многие вакансии и межузельные может быть увеличена путем резкого охлаждения

металла, пластичной деформация, облучение с высокими энергетическими лучами, магнитным полем, и так далее.

Во-первых, в зависимости от размера введенных атомов и расстояния между ними повышая тем самым энергию, все точечные несовершенства определяется локальными искажениями кристаллической решетки.

Во-вторых, к виду линейных несовершенств кристаллической решетки, имеющих размеры, близкие к атомным в двух измерениях и значительную протяженность в третьем, относят смешанные дислокации. Именно эти смешанные дислокации имеют в своем составе краевую и винтовую дислокацию.

Во-третьих, поверхностные дислокации являются несовершенствами, имеющими заметную протяженность в двух направлениях. Поверхностные дислокации определяется межфазными границами, скоплением дислокаций в одной плоскости, дефектами упаковки кристаллической решетки, границами между субзернами, зернами и др.

Последний вид является объемными несовершенствами. Они характеризуется протяженностью во всех трех измерениях. Эти несовершенства зависит от совокупности трех указанных видов выше (*точечных, линейных и поверхностных*). При этом происходит искажение кристаллической решетки с огромными объемами кристалла. Кроме того, в объемных несовершенствах имеются фазы, дисперсные выделения, различные включения, а также напряжения и деформации неравномерно распределяют в макрообъемах.

### **1.1.3. Образование и размножение дислокаций**

После того, что жидкая фаза исчезает, дислокации образуются в процессе охлаждения кристаллов.

Под теорией дислокации понимают многочисленные механизмы образования дислокаций. Все они характеризуется возникновением локальных участков концентрации напряжений на границе твердых и жидких фаз. Эта концентрация является конечным результатом тепловых градиентов,

изменения в составе и структуре кристалла вхождения примесей, возможностей, различных родов кристаллов разведение возникла в первых ранних стадиях кристаллизации дислокаций и других.

## **1.2. Лазерное упрочнение**

Одна из основных важных проблем в машиностроении является увеличением износостойкости деталей машин. Одним из технологических альтернатив представляет собой упрочнение поверхностного слоя элемента в качестве изменения его структуры. Для достижения упрочнения поверхности существуют следующие способы: химико-термической, плазма, лазер, здесь мы смотрим на лазерное упрочнение. Физические и механические свойства области в слое усиленных лазерного излучения, связанное с высокими скоростями нагревом и охлаждением. Лазерное упрочнение материалы на основе локальной согревающей площади поверхности подвергнуты излучения и последующее охлаждение участка поверхности при высокой скорости в результате теплоотвода тепла во внутренние слои металла. Видим, что эти условия зависят от высокой скорости нагрева и охлаждения обрабатываемых участков поверхности. Таким образом, специфические термические процессы на поверхности заготовки происходит тонкой структуры геологической среды. На заготовке образует своеобразную оболочку с повышенными прочностными характеристиками.

### **1.2.1. Принцип упрочнения**

В большинстве случаев, в процессе упрочнения заготовки, поверхностный слой нагревается чуть ниже температуры плавления. Чтобы достигнуть этой температуры, лазерное излучение собирается в движение и непрерывно нагревает поверхность.

Для упрочнения заготовки лазерный луч в большинстве случаев нагревает поверхностный слой до температуры, немного ниже температуры плавления, т.е. до 900 - 1400 градусов Цельсия. По достижении заданной температуры лазерный луч приходит в движение, непрерывно нагревая поверхность в направлении подачи. Под воздействием высокой температуры

атомы углерода в кристаллической решетке металла меняют свое положение (аустенизация). После прохождения лазерного луча нагретый слой очень быстро охлаждается под воздействием окружающего материала. Этот процесс называют самозакалкой. Из-за быстрого охлаждения кристаллическая решетка металла не может вернуться в первоначальную форму, возникает мартенсит. Мартенсит – это очень твердая металлическая структура. Превращение в мартенсит приводит к увеличению твердости материала.

Лазерный луч упрочняет поверхностный слой заготовки. Стандартный диапазон глубины обработки при поверхностной закалке составляет от 0,1 до 1,5 мм, у некоторых материалов это значение достигает 2,5 мм и более. Чем большей должна быть глубина поверхностной закалки, тем больший объем должен иметь окружающий материал для быстрого отвода тепла и быстрого охлаждения зоны закалки. Упрочнение осуществляется при относительно низкой плотности мощности. Одновременно с этим обработка ведется в плоскостном режиме. Поэтому лазерному лучу придают форму, при которой он сможет обработать максимум поверхности заготовки. Распространена прямоугольная форма поверхности облучения. Для упрочнения используются также сканирующие оптические устройства. Они очень быстро перемещают лазер с круглым фокусом туда и обратно. На заготовке возникает линия с практически одинаковой плотностью мощности. Это позволяет создавать дорожки упрочненной поверхности шириной до 60 мм.

Преимущества лазерного упрочнения заключаются в уменьшении объема дополнительной обработки и возможность обработки неоднородных трехмерных заготовок. Благодаря незначительному тепловому воздействию деформация остается на ограниченном уровне, издержки на дополнительную обработку уменьшаются или не возникают вовсе.

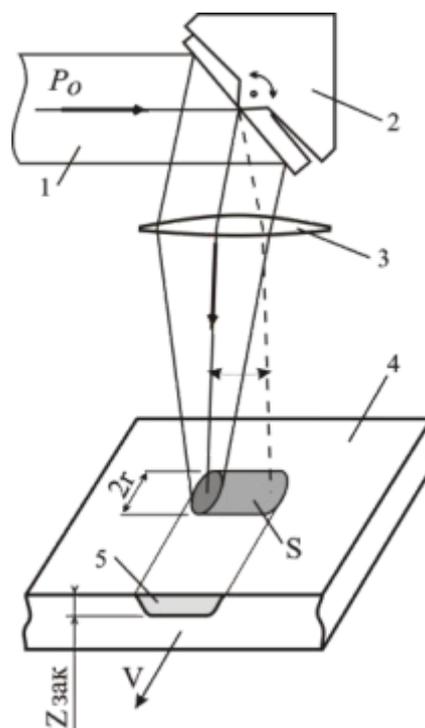


Рис. 1.4. примерная схема лазерной закалки. 1- лазерный пучок; 2 - сканатор с колеблющимся зеркалом; 3 - фокусирующая линза; 4 - обрабатываемый материал.  $P_0$  - мощность лазерного излучения;  $r$  - радиус лазерного пучка на поверхности материала;  $S$  - площадь зоны нагрева;  $Z_{зак}$  - глубина зоны закалки;  $V$  - скорость перемещения обрабатываемого материала относительно зоны нагрева [9].

### 1.2.2. Технологический процесс лазерного упрочнения определяется следующими входными параметрами и характеристиками

Входные параметры:

- мощность излучения;
- диаметр пятна фокусирования  $D_{п}$ ;
- время облучения или скорость обработки т.е. скорость перемещения пятна по детали  $V_{п}$ ;
- распределение мощности по облучаемой поверхности (в пятне).

Характеристики в зоне лазерного воздействия на металл:

- температура нагрева  $T_{н}$ ;
- скорость нагрева  $V_{н}$ ;
- время нагрева  $t_{н}$ ;

- скорость охлаждения  $V_0$ ;
- термический цикл  $T_{\text{ц}} = 0,3 \dots 0,5$  с.

### **1.2.3. Лазеры, применяемые для упрочнения**

В последние три десятилетия в области упрочнения были хорошо известны три различных типа лазерных источников:  $\text{CO}_2$ , Nd: YAG и диодные лазеры высокой мощности. До конца прошлого века  $\text{CO}_2$ -лазер был чуть ли не единственным лазером, который был способен обеспечить сочетание плотности мощности и времени взаимодействия излучения с веществом, необходимого для появления упрочнения. С конца 1990-х развитие Nd: YAG лазеров с мощностью в несколько киловатт с накачкой лампой-вспышкой или диодной накачкой обеспечило появление альтернативного источника с рядом преимуществ. Одним из основных преимуществ Nd: YAG лазера является то, что длина волны лазерного излучения (обычно 1,06 мкм) позволяет лазерным лучам быть доставленными посредством оптического волокна с относительно низкими потерями энергии. Это позволяет тракту, по которому проходит излучение, быть изогнутым на пути к мишени. Следовательно, Nd: YAG лазеры, обеспечивающие высокие уровни мощности лазера, могут быть применены в составе с манипулирующим роботом, что делает их идеальными для трехмерной обработки. Гораздо позже были изобретены киловаттные диодные лазеры с длиной волны около 0,8 мкм; они компактны и могут быть установлены непосредственно на работе для упрочнения компонентов со сложной геометрией. По сравнению с длиной волны  $\text{CO}_2$ -лазера (около 10,6 мкм), длины волн света из Nd: YAG и диодных лазеров значительно сильнее поглощаются на поверхности металла [10].

В результате Nd: YAG и диодные лазеры были применены в области различных обработок сталей и их сплавов.

Таблица 2 – Сравнение высокоэнергетических лазерных комплексов

Фактор	CO <sub>2</sub>	Nd: YAG	Диодный
Длина волны, мкм	10,6	1,06	0,808
Поглощение металлами, %	5-10	25-35	30-40
КПД, %	10	10	30
Средняя потребляемая мощность, кВт	50	30	10
Мощность лазера, кВт	5	8	3
Максимальная плотность мощности	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>

Для локализованного упрочнения в настоящее время используют Nd: YAG и диодные лазеры, поскольку они сочетают в себе более высокий КПД и лучшее поглощение металлами из-за работы в более коротковолновом диапазоне длин волн, а также эти лазеры имеют малые затраты на обслуживание (таблица 2).

#### **1.2.4. Особенности технологии лазерного упрочнения в отличие от других методов закалки**

По сравнению с другими методами закалки технология лазерного упрочнения включает в себя ряд преимуществ:

- Соотношение «цена-качество». Радикальное, в 2-5 раз, т.е. на 200-500 %, повышение износостойкости упрочняемых на глубину до 0,8-1,5 мм поверхностей и срока службы деталей достигается ценой упрочнения, не превышающей 15-20 % стоимости неупрочненных деталей;
- В отличие от известных процессов упрочнения: объемной закалкой, токами высокой частоты, электронагревом, закалкой из расплава

и другими способами нагрев при лазерной закалке является не объемным, а локальным, поверхностным процессом, что исключает изменение как макро, так и микрогеометрии обрабатываемых деталей;

- Упрочнение лучом лазера осуществляется без оплавления поверхности – это исключает изменение шероховатости и необходимость в последующей механообработке (шлифовка, полировка и т.д.);

- Термический цикл, при лазерном упрочнении по выше перечисленным характеристикам, самый быстрый по сравнению с термическими циклами всех остальных существующих методов закалки и составляет 0,3...0,5 с;

- Высокая производительность данной технологии характеризуется автоматизацией процесса лазерного упрочнения и исключением необходимости термообработки всей детали, а лишь локальных участков подверженных износу;

- Отсутствие проблем прочности связи (адгезии) упрочненного слоя с основной массой детали, как, например, при использовании технологии напыления;

- Возможность упрочнения поверхностей любой сложности и геометрии благодаря современному лазерному технологическому оборудованию;

- Возможность упрочнения и модифицирования поверхностей широчайшей номенклатуры материалов с повышением их эксплуатационных характеристик, что позволяет во многих случаях заменять дорогостоящие, сложнолегированные материалы, используемые часто с целью обеспечения необходимой износостойкости поверхностей, на более простые, дешевые и доступные с приданием им нужных эксплуатационных характеристик.

## **Применения**

На сегодняшний день лазерное упрочнение в поверхностной обработке применяется с целью повышения долговечности, надежности металла во

широких сферах промышленности, в том числе автомобильной промышленности, химическом машиностроении, авиастроении, судостроении и др.

### **1.3. Лазерная закалка**

#### **1.3.1. Цели лазерной закалки металла**

Основными целями закалки металла лазером являются:

- повышение сопротивления износу деталей;
- увеличение твердости поверхности;
- снижение коэффициента трения поверхностных слоев;
- увеличение несущих характеристик поверхностных слоев.

Закалка в печи приводит к наибольшему износу и максимальному коэффициенту трения, лазерная закалка - к наименьшему и минимальному. Вследствие большей однородности микроструктуры участка поверхности после закалки лазером некоторые другие характеристики поверхностных слоев имеют значительные преимущества.

#### **1.3.2. Режимы лазерной закалки**

Для упрочнения инструментов применяется лазерная закалка импульсным излучением. Мы считаем, что обработка боковых поверхностей вырубных пуансонов эффективна, потому что после многократных переточек упрочненный слой сохраняется. Стойкость пуансонов повышается в 2,5 раз.

Более высокая производительность закалки обеспечивается лазерами непрерывного излучения при перемещении обрабатываемой детали относительно луча с постоянной скоростью. При этом на детали формируются закаленные поверхностные участки в виде полосы шириной от 1 до 10 мм. Максимальная глубина упрочнения при закалке сталей и чугунов без оплавления достигает 2,0 мм. При обработке с оплавлением это значение возрастает, но при этом ухудшается качество поверхности.

Закалка непрерывным лазером обеспечивает большую равномерность упрочнения поверхности по сравнению с импульсным воздействием, так как по длине упрочненной полосы твердость распределяется равномерно. При

обработке больших поверхностей упрочненные полосы накладывают с перекрытием. В ряде случаев для обеспечения износостойкости поверхности целесообразно накладывать полосы на некотором расстоянии друг от друга без перекрытия.

Последующее выравнивание свойств упрочненной полосы и увеличение ее ширины до 20 мм достигается сканированием лазерного луча в поперечном направлении по отношению к перемещению обрабатываемой детали. При высокой частоте сканирования (200 Гц и более) обеспечивается равномерное воздействие лазерного излучения по ширине обрабатываемого участка.

#### **1.4. Классификация упрочнения**

Вместе с указанной информацией в прежних разделах 1.2 и 1.3 мы добавляем другие методы упрочнения поверхностей деталей машин и представляем их различия и преимущества по сравнению с методом лазерного упрочнения.

Упрочнение поверхностей деталей машин делятся на 4 группы методов с помощью концентрированных потоков энергии:

- 1) электронно-лучевое упрочнение;
- 2) плазменное и детонационное упрочнение;
- 3) вакуумное ионно-плазменное упрочнение;
- 4) лазерное упрочнение [12].

##### **1.4.1. Электронно-лучевое упрочнение**

Основа методов первой группы электронно-лучевого упрочнения является переносом энергии от лучевого источника к обрабатываемой поверхности. В результате мощного локального энергетического воздействия обрабатываемая поверхность детали машин приобретает новые свойства.

При условии защиты оператора от рентгеновского излучения, в вакуумной среде обработка поверхности создает мощный электронный пучок, так как препятствует распространению такого упрочнения с широким объемом.

По сравнению с лазерным упрочнением эти методы имеют такие преимущества: более высокий КПД, более высокая мощность и меньшая стоимость. Кроме того, «применяют наплавку с порошком алюминия, железа и никеля в среде азота. Износ уменьшается в 2-4 раза» [12].

В то время метод лазерного упрочнения используется для обработки гильз цилиндров, деталей химического, нефтяного и бурового оборудования, коленчатых валов двигателей или зубчатых колес.

#### **1.4.2. Плазменное и детонационное упрочнение**

Основа методов второй группы плазменного и детонационного упрочнения составляет перенос вещества от некоторого источника к предварительно очищенной обрабатываемой поверхности. Можно сказать, эти методы представляет собой газотермические методы. Т.Ю. Степанова отметила, что действие методов основано на полном или частичном нагреве материала покрытия до состояния плавления и распылении его газовой струей. «Напыляемый материал может быть в виде проволоки или порошка. Нагрев напыляемого материала может производиться от газового пламени, плазмы электрической дуги или от детонации взрывчатой газовой смеси» [12]. При этом на обрабатываемой поверхности детали машин — это вещество оседает через формирование защитного покрытия.

С одной стороны, при плазменном методе используется энергия плазменной струи. С другой стороны, энергия кислородно-ацетиленовых взрывов применяется в детонационном методе. Эта энергия обеспечивает необходимый разогрев и ускорение напыляемого материала. В исследовании Т.Ю. Степанова показано то, что «распыляемые частицы материала ударяются в подложку и расплющиваются, образуя тонкие чешуйки, закрепляющиеся на поверхностном шероховатом слое путем механического и физико-механического взаимодействия с материалом основы. В результате взаимодействия отдельных чешуек образуется своеобразная структура напыляемого покрытия. Чем больше скорость соударения частиц, тем выше прочность наносимого покрытия. При детонационном напылении скорость

движения напыляемого порошка составляет 600-1000 м/с, что в 4-7 раз больше, чем при плазменном и газопламенном методах напыления» [12].

Одним из преимуществ этих методов упрочнения является нанесением тугоплавких материалов на металлическую подложку с низким уровнем температуры ( $\leq 150$  °С).

Процесс плазменного напыления включает в себя два этапа:

- 1) Полет и распыление частиц напыляемого материала;
- 2) Удар об обрабатываемую поверхность, соединение частиц с ней и между собой [12].

Создание покрытия из-за столкновения частиц на поверхности заготовки, их сильной деформации, расплющивания и разбрызгивания. После этого, полученное покрытие, а также в случае детонационного напыления, как оно построено из чешуек напыляемого вещества, связаны вместе с участками сваривания по контактной поверхности, следовательно, прочность и плотность покрытия детали ниже по сравнению с исходным материалом.

Кроме того, давление от удара твердых частиц вызывает упругие искажения решетки и пластическую деформацию. Под действием этого давления происходит локальное повышение активности твердой подложки. В зоне соударения данного процесса пластичная деформация частиц порошка и подложки из-за детонационного напыления приводит к кинетике и механизму формирования покрытий. В результате прочность сцепления покрытия с основным металлом увеличивается.

По нашему мнению, необходимо применять дополнительную операцию оплавления для того, чтобы повышать физико-механические свойства напыленного слоя и улучшать адгезию к подложке. Очевидно, напыленный слой нагревают близко к уровню температуры его плавлению.

При этом нагрева между напыленным слоем и основным металлом приводит к диффузионному процессу, вместе с тем, что образования плотного покрытия происходит при помощи остывания. Расплавленная часть напыленного материала заполняет поры, остающиеся после напыления. После

остывания получается непористый однородный слой с равномерностью и тонкостью. Поэтому приводят охлаждения в печи.

Способы оплавления:

- плазменной или газовой горелкой;
- в электрической печи;
- в соляной ванне;
- токи высокой частоты.

С точки зрения Т.Ю. Степанова «методом детонаций напыляют пластичные металлы и сплавы (Cu, Ni, Fe и др.), твердые непластические металлы и тугоплавкие соединения (W, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.). При плазменном напылении в качестве плазмообразующих газов используют аргон, неон, азот, водород, гелий, аммиак, природный газ и их смеси. Порошок вводится в плазменную струю» [12].

**Применение:**

Этот метод применяют для авиационного, станко- и приборостроения; моторостроения; ракетной, космической и ядерной техники; химического и металлургического машиностроения; инструментального производства.

#### **1.4.3. Вакуумное ионно-плазменное упрочнение**

В методах третьей группы вакуумного ионно-плазменного упрочнения крупные частицы источника вещества разогреваются и разгоняются до высокой энергии и внедряются или прилипают к обрабатываемой поверхности. Одновременно, на обрабатываемой поверхности формирует слой нанесенного вещества.

Вакуумные ионно-плазменные методы являются одни из самых заметных методов нанесения защитных покрытий, которые формируются под воздействием на поверхность детали потоков частиц и квантов с высоким уровнем энергии. Характерной их чертой является прямое преобразование электрической энергии в энергию технологического воздействия, основанное на структурно-фазовых превращениях в осажденном на поверхности

конденсате или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру.

Данные методы имеют большую возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, а также алмазоподобных. Можно сказать, преимуществ этих методов невозможно достичь традиционными методами, таких как:

- обеспечивать высокую адгезию покрытия к подложке;
- получать равномерные покрытия по толщине на большой площади;
- варьировать состав покрытия в широком диапазоне, в пределах одного технологического цикла;
- получить высокую чистоту поверхности покрытия;
- обеспечивать экологическую чистоту производственного цикла.

Методы вакуумной ионно-плазменной технологии:

1) Модифицирование поверхностных слоев:

- ионно-диффузионное насыщение;
- ионное (плазменное) травление;
- ионная имплантация;
- отжиг в тлеющем разряде;

2) Нанесение покрытий:

- полимеризация в тлеющем разряде;
- ионное осаждение (в триодной распылительной системе, диодной распылительной системе, с использованием разряда в полом катоде);
- электродуговое испарение;
- ионно-кластерный метод;
- катодное распыление (на постоянном токе, высокочастотное);
- химическое осаждение в плазме тлеющего разряда.

Современные вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения поверхностей металла включают в себя следующие этапы:

- генерацию корпускулярного потока вещества;

- активизацию, ускорение и фокусировку;
- конденсацию и внедрение в поверхность деталей (подложек).

Нагрев испаряемого вещества может осуществляться:

- За счет выделения Джоулева тепла при прохождении электрического тока через испаряемый материал или через испаритель;
- В результате бомбардировки поверхности металла ускоренным потоком электронов или квантами электромагнитного излучения;
- Высокочастотным электрическим магнитным полем (индукционный нагрев);
- Электрической дугой.

Т.Ю. Степанова подчеркнула, что в зависимости от природы испаряемого материала и его исходных форм необходимо выбирать способ нагрева и конструкцию установки. Исходные формы испаряемого материала требуют скорости испарения и постоянства во времени. «Наибольшее распространение получил нагрев при помощи электронной бомбардировки, что позволяет достигать температуры 4000 °С и плотности энергии в луче до  $5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>» [12].

Более того, электронно-лучевой способ нагрева состоит в том, что на образец металла направляют поток электронов от катода, ускоренных электрическим полем до энергии 5-25 кэВ. В результате поток электронов образуется при электронно-лучевых пушках.

Необходимо увеличить энергию частиц, которые прибывают на подложку, потому что образованное испарение приводит к невысокой средней энергии частиц в потоке. По нашему мнению, электрическое поле представляет собой оптимальный способ ускорения заряженных частиц. Однако, для того, чтобы создавать потоки в основном нужно использовать нейтральные частицы, и можно осуществлять их активацию с помощью действия на атомы потоком атомов, электронов, ионов или фотонов.

В результате активированный корпускулярный поток образуется в контакт с подложкой металла. Этот поток имеет в своем составе нейтральные

частицы с высокой энергией и ионы. Поскольку процесс взаимодействия этого сложного потока с поверхностью детали приводит к тому, что протекают такие взаимосвязанные физические явления: конденсация, внедрение и распыление.

Таблица 3 – Сравнение техник термообработки

Классификация	Лазерное упрочнение	Электронно-лучевое упрочнение	Индукционная закалка	Пламя
Макс. глубина обработки, мм	1,5	1	5	10
Деформация	низкая	низкая	средняя	сильная
Эластичность материала	высокая	высокая	средняя	средняя
Точность	высокая	высокая	средняя	низкая
Квалифицированное обслуживание	среднее	среднее	среднее	высокое
Влияние на окружающую среду	низкое	низкое	низкое	среднее

### 1.5. Области применения технологии лазерного упрочнения

В соответствии с указанными преимуществами технологии лазерного упрочнения, в реальности, эта технология применяется в следующих областях:

- в системе железнодорожного транспорта - это быстро изнашивающиеся поверхности надрессорных балок, боковых рам, колесных пар, автосцепок, различных валов и т.д.;

- в металлургии - поверхности прокатных валов разных типоразмеров, фильер, крупногабаритных нагруженных зубчатых колес и т.д.; в машиностроении и в станкостроении - трущиеся поверхности направляющих станков и прессов, ходовых винтов и шлицевых валов, посадочных мест ступенчатых валов, поверхности трения муфт, штоков, рычагов, деталей насосов и т.д.;
- в сфере нефтегазодобычи и геологоразведки - поверхности резьбовых соединений труб, рабочих органов (коронки) буровых установок, деталей погружных насосов и т.д.;
- в инструментальном производстве - режущие кромки вырубных штампов, особенно крупногабаритных дорогостоящих с длительным циклом изготовления, поверхности штампов объемной холодной и горячей штамповки, режущих инструментов, ножей гильотинных и т.д.;
- в моторостроении (особенно мощных двигателей для судов и локомотивов) - поверхности шеек коленчатых валов, распредвалов, седел клапанов, гильз цилиндров и т.д.;
- в сфере производства, ремонта и эксплуатации дорожно-строительной техники - износостойкость и ресурс деталей гидроаппаратуры, ножей грейдерных и бульдозерных, бил роторов для дробления щебня, звездочек и натяжных колес гусеничных экскаваторов и тракторов, зубьев ковшей экскаваторов и т.д.;
- в стеклотарной отрасли - кромки и поверхности форм для литья стеклотары;
- в производстве газотурбинных двигателей - это поверхности лопаток и других быстроизнашивающихся деталей;
- в сфере производства, ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники - это рабочие органы почвообрабатывающей техники (плужных лемехов, дисков борон, ножей культиваторов и т.д.);
- в оборонной промышленности, в частности, ресурс стволов артиллерийских установок;

- в сфере производства подшипников разных типоразмеров (прежде всего, крупных и особо крупных) для различных отраслей и условий эксплуатации и т.д [6].

## **Выводы по первой главе**

В первой главе рассмотрены теоретические основы исследования механических методов поверхностного упрочнения стали, параметры поверхностного слоя стали, разработаны изменения структуры и параметры поверхностного стали под действием лазерного излучения и охарактеризована микротвердость стали после упрочнения, а также выяснена классификация упрочнения и области применения технологии лазерного упрочнения.

В разделе «Механические методы поверхностного упрочнения стали» представлены параметры состояния поверхностного слоя стали, структурные несовершенства в реальных кристаллах и образование, и размножение дислокаций. Раздел лазерного упрочнения состоит из 4 части: принцип упрочнения, технологический процесс лазерного упрочнения, лазеры, применяемые для упрочнения, и особенности технологии лазерного упрочнения выгодно отличаются от других методов закалки. В разделе лазерной закалки включены цели и режимы лазерной закалки металла. Классификация упрочнения можно разделить на 4 вида: электронно-лучевое, плазменное и детонационное, вакуумное ионно-плазменное, и лазерное упрочнения. В конце первой главы рассмотрены области применения технологии лазерного упрочнения.

## **2. Экспериментальные исследования упрочнения поверхностного слоя стали**

Для достижения цели исследования был проведен ряд опытов с использованием твердотельной с волоконной доставкой лазерной системы. Опыты были разработаны и выполнены для выполнения четырех исследовательских задач по исследованию углеродистой стали после упрочнения волоконным лазером.

### **2.1. Лазерный комплекс**

В исследовании был использован твердотельный лазер (модель BlackLight), произведенный в ООО «Лазерный центр», г. Санкт-Петербург (показан на рисунке 5). Средняя выходная мощность лазера – 50 Вт, максимальная энергия в импульсе 40 Дж. Частота следования импульсов регулируется от 0,5 до 20 Гц. Регулируемая длительность импульсов в диапазоне от 0,4 до 30 мс. Длина волны лазерного излучения – 1,064 мкм [1].

Достоинства лазерной системы:

- Компактность и удобство
- Высокие удельные характеристики
- Высокоэффективная система охлаждения
- Удобное меню настройки и выбора параметров сварки
- Программируемая форма импульса лазерного излучения
- SMA – разъем для подключения различных оптических устройств.



Рис. 2.1. – BlackLight

## 2.2. Исследуемые материалы

Для исследования выбраны следующие материалы: сталь У12 – инструментальная углеродистая сталь (содержание углерода 1,16 - 1,23 %), применяемая для изготовления режущих инструментов, работающих с не высоким разогревом – 200 – 250 °С; сталь Х12 – инструментальная легированная сталь (содержание углерода 2 - 2,2 %, содержание хрома 11,5 – 13 %), в основном используемая для изготовления штампов холодного деформирования металлов и обладающая хорошей износостойкостью. Данный набор марок сталей позволяет проследить влияние углерода и легирующих элементов на свойства стали после лазерного воздействия. Для лазерной обработки были подготовлены стальные образцы размером 30x20x10 мм в отожженном и закаленном состоянии. Термическую обработку проводили по стандартной методике для выбранных сталей.

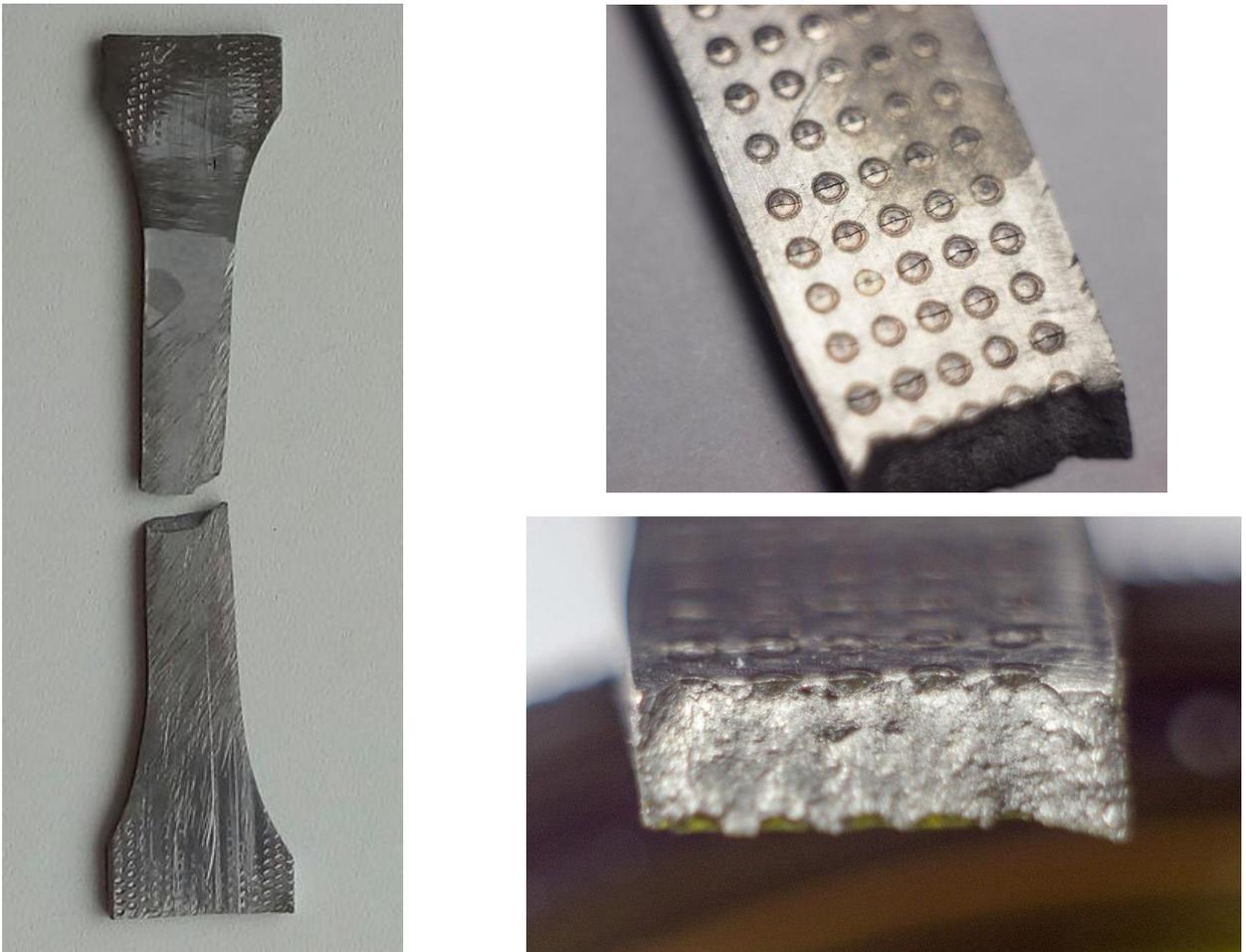


Рис. 2.2. исследуемые материалы

В качестве лазерного источника излучения использовали твердотельный Nd: YAG лазер, работающий в импульсном режиме с длиной волны излучения 1,064 мкм и длительностью импульса 12 мс и плотностью мощности 23,4 кВт/см<sup>2</sup>. Для воздействия использовался прямоугольный импульс (форму импульса позволяет менять программное обеспечение лазерного комплекса) с диаметром лазерного пятна 0,35 мм.

### **2.3. Рентгеноструктурный анализ**

Рентгеноструктурный анализ проводили на установке ДРОН-07 с фильтрованным кобальтовым излучением. По полученным рентгенограммам в соответствии с [2] определяли количественный фазовый состав.

### **2.4. Определение микротвердости**

После лазерной обработки лицевая поверхность образцов была подготовлена к измерению микротвердости и исследованию микроструктуры с помощью шлифовальных и полировальных машин, затем производилось

травление поверхности 4 %-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте. Вдоль глубины лазерного воздействия была измерена микротвердость с помощью прибора ПМТ-3 под нагрузкой 150 г. Микроструктура образцов была изучена с помощью оптического микроскопа AxioObserver A1.m фирмы CarlZeiss (Германия) в программном продукте AxioVision v.4.6.

## 2.5. Результаты и обсуждение

На рисунке 2.3 представлены фотографии различных образцов после лазерного воздействия. На фотографиях хорошо видны зоны лазерного воздействия и зоны термического влияния. В зоне лазерного воздействия произошло оплавление материала образца, о чем свидетельствует отсутствие рисок, оставленных шлифовальным инструментом до лазерной обработки.

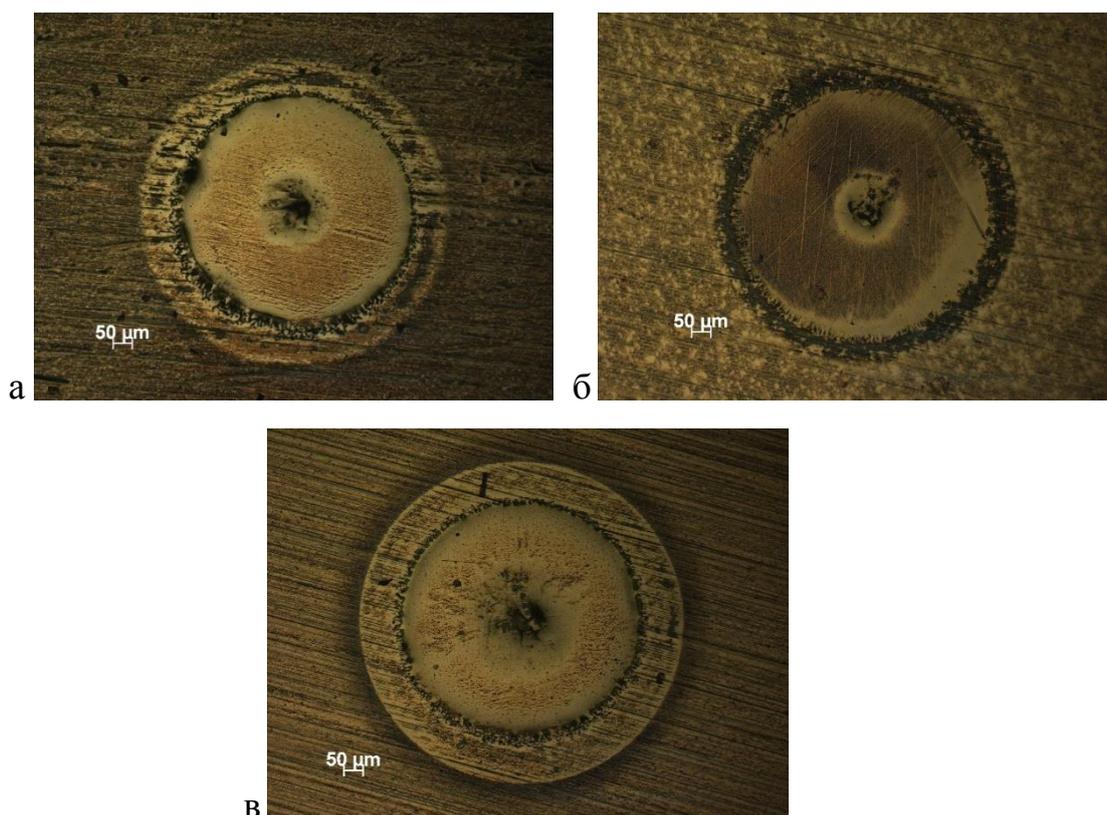


Рис. 2.3. Образцы стали после лазерного воздействия: а - У12 исх.,  
б - Х12 исх., в - У12 зак.

На графике 1 представлены результаты измерения микротвердости в области лазерного воздействия. Из него видно, что у стали У12 после лазерного термического воздействия микротвердость повысилась с 300 МПа

до 850 МПа. Зона, располагающаяся в промежутке от 350 до 400 мкм, является зоной термического влияния, где микротвердость выше, чем в зоне закалки, и составляет 850 МПа. Небольшое снижение твердости в зоне лазерного воздействия обусловлено наличием остаточного аустенита. Наличие остаточного аустенита объясняется тем, что переход аустенита в мартенсит сопровождается увеличением объема. Мартенсит занимает больший объем, чем аустенит, из которого он образовался. Поэтому, когда в стали остается небольшое количество аустенита, он подвергается со стороны мартенсита всестороннему сжатию, ввиду чего превращение аустенита в мартенсит прекращается. Аустенит в результате самопроизвольного превращения в мартенсит понижает твердость, износостойкость, нередко приводит к изменению размеров деталей, работающих при низких температурах. Однако, в данном случае наличие остаточного аустенита не критическое, для превращения которого необходимо было бы производить дополнительную термическую обработку.

У стали X12 микротвердость после лазерного воздействия повысилась значительно меньше, чем у У12 и составляет в среднем 550 МПа. Это связано с наличием большого количества остаточного аустенита, который не трансформировался в мартенсит ввиду большого содержания в составе материала легирующих составляющих (хром, никель, кремний и т.д.). График 2 демонстрирует данные, полученные после рентгеноструктурного анализа. Из графика видно, что действительно в зоне лазерной обработки наблюдается большое количество остаточного аустенита (до 70 – 75 %).

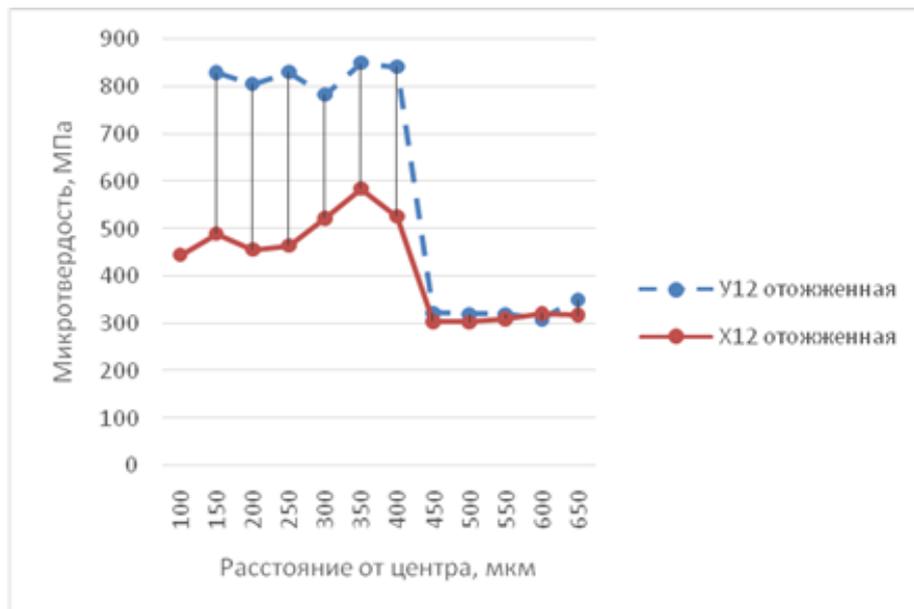


График 1. Изменение микротвердости отожженной стали в области, подвергнутой лазерной обработке

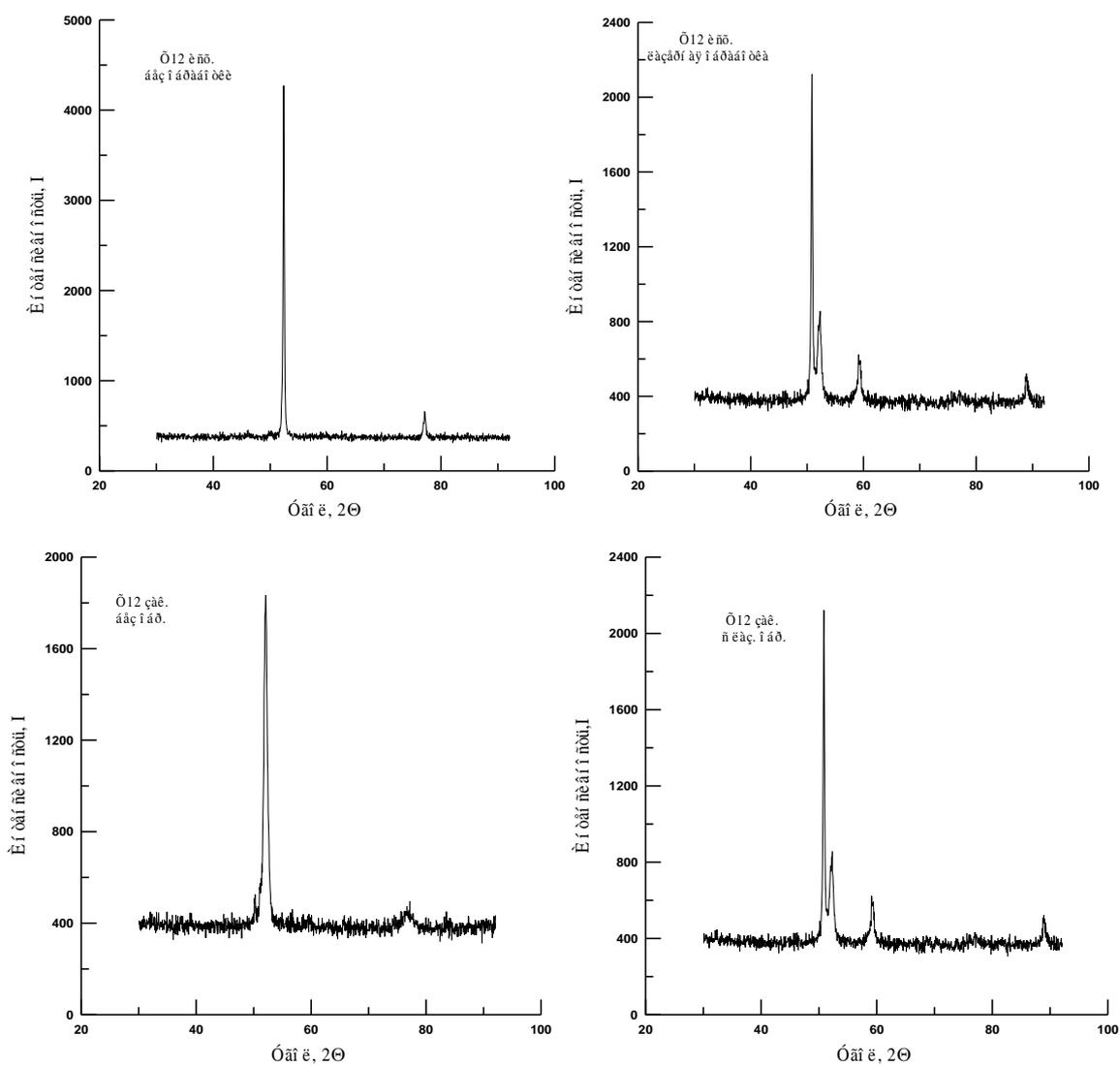


График 2. Рентгеноструктурный анализ стали X12.

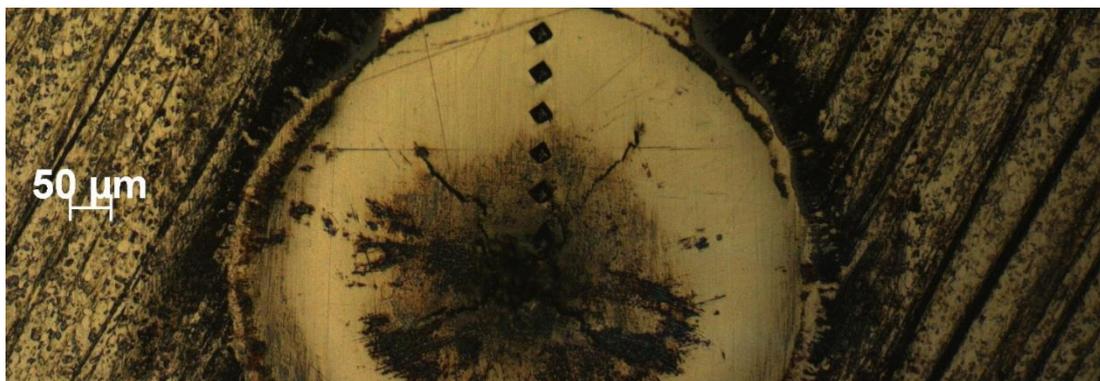


Рис. 2.4. Сталь X12 закаленная после лазерного воздействия

На рисунке 2.4 представлена фотография зоны лазерного воздействия в закаленной стали X12. Быстрый нагрев охлаждение вызывает возникновение больших внутренних напряжений в закаленной стали, что и приводит к возникновению на поверхности металла трещин.

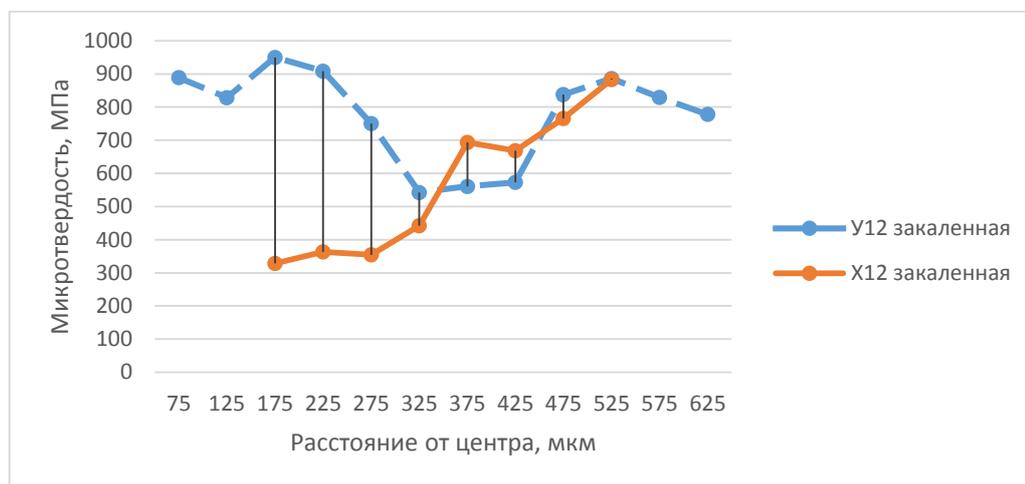


График 3. Изменение микротвердости закаленной стали в области, подвергнутой лазерной обработке

На графике 3 представлены результаты измерения микротвердости в закаленных образцах стали в зависимости от расстояния от центра области лазерного воздействия. В закаленном образце стали У12 изменение микротвердости происходит иначе, чем в отожженном. Микротвердость закаленной стали высока и составляет порядка 800 МПа. По мере приближения к области лазерного воздействия – область термического воздействия - микротвердость сначала снижается до 550 МПа, затем наблюдается повышение до 900 МПа. Снижение твердости вблизи области лазерного воздействия обусловлено отпуском закаленной стали. В зоне

лазерного воздействия происходит закалка из жидкого состояния, что и вызывает повышение микротвердости [2].

В закаленном образце стали X12 снижение микротвердости наблюдается уже при приближении к области термического воздействия. Это связано также как и у стали У12 с отпуском закаленной стали. Пониженная твердость в области лазерного воздействия также обусловлена наличием большого количества (до 70 – 75 %) остаточного аустенита, образовавшегося при закалке из жидкого состояния.

## **Выводы по второй главе**

Во второй главе составляются экспериментальные исследования упрочнения поверхностного слоя стали. Раздел главы посвящен лазерный комплекс, исследуемые материалы, просмотрен рентгеноструктурный анализ, определены микротвердости стали, даны результаты исследования и сделан вывод.

В результате показано, что при поверхностной лазерной обработке различных сталей микротвердость меняется неоднозначно. Представлены результаты измерения микротвердости в закаленных образцах стали в зависимости от расстояния от центра области лазерного воздействия. В закаленном образце стали У12 изменение микротвердости происходит иначе, чем в отожженном. В углеродистой инструментальной стали после лазерной обработки удастся получить микротвердость выше, чем при обычной закалке.

В легированной стали Х12 после лазерной обработки высокой твердости достичь не удастся из-за образования большого количества остаточного аустенита. Для повышения высокой твердости необходимо проведение дополнительной термической обработки.

### 3. Задание для раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа	ФИО
4B21	Дао Дык Ань

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	12.03.02 Оппотехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НТИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Проект выполняется на базе лаборатории ТПУ, для реализации НТИ используется материально-техническая база кафедры ЛиСТ, ИФВТ. - В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 1. Расчет материальных затрат НТИ 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 3. Основная заработная плата исполнителей темы 4. Отчисления на социальные нужды 5. Накладные расходы 6. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. SWOT -анализ 2. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта 3. Бюджет проекта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е. А.	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B21	Дао Дык Ань		

## **Введение**

Исследование теплового воздействия при лазерного упрочнения материала является актуальным вопросом, т.к. процессы упрочнения применяются во многих сферах промышленности, например, при изготовлении коленчатых валов.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения поставленной цели, необходимо выполнить следующие задачи: определение инициации научного исследования (концепция научного исследования); планирование научного исследования; расчет бюджета научного исследования; определение ресурсоэффективности научного исследования.

### **3.1. Инициация научного исследования**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации будут описаны изначальные цели и содержание. Показаны внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта. Основные моменты устава проекта будут описаны ниже по пунктам.

#### **1) Цели и результаты проекта**

Данные раздела сведены и представлены в таблице 4 и таблице 5.

Таблица 4 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научно-исследовательский институт физики прочности и материаловедения	Подтверждения результатов исследования по локализации пластической деформации
Предприятия машиностроительной отрасли	Готовая технология по обработке сталей лазерным излучением

Таблица 5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Исследовать влияние локальной обработки лазерным излучением на поверхность углеродистой стали
Ожидаемые результаты проекта:	Получение положительных результатов по локальной обработке стали лазерным излучением
Критерии приемки результатов:	Структура очагов лазерного воздействия после закалки, значение твердости и пластичности после лазерной обработки
Требование к результату проекта:	Требования:
	Малое количество остаточного аустенита
	Высокое значение микротвердости
	Отсутствие стадии “легкого скольжения” при растяжении

## 2) Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определены роли каждого участника проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и трудозатраты в проекте. Данные по организационной структуре описаны в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Зыков И.Ю. НИ ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Руководить, координировать	10
2	Мельников А.Г. НИ ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Консультировать, направлять	15
3	Дао Дык Ань НИ ТПУ, студент	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	40
4	Лобанкова О. НИ ТПУ, ассистент	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	45
ИТОГО:				110

### 3) Ограничения и допущения проекта

Все имеющиеся данные по ограничениям и допущениям описаны и сведены в таблице 7

Таблица 7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1 Сроки проекта:	
3.1.1 Дата утверждения плана управления проектом	15.01.2016
3.1.2 Дата завершения проекта	20.04.2016
3.2 Прочие ограничения и допущения	Ограничения по времени использования научного оборудования

### 3.2. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

### 3.2.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. Представлена на рисунке 3.1

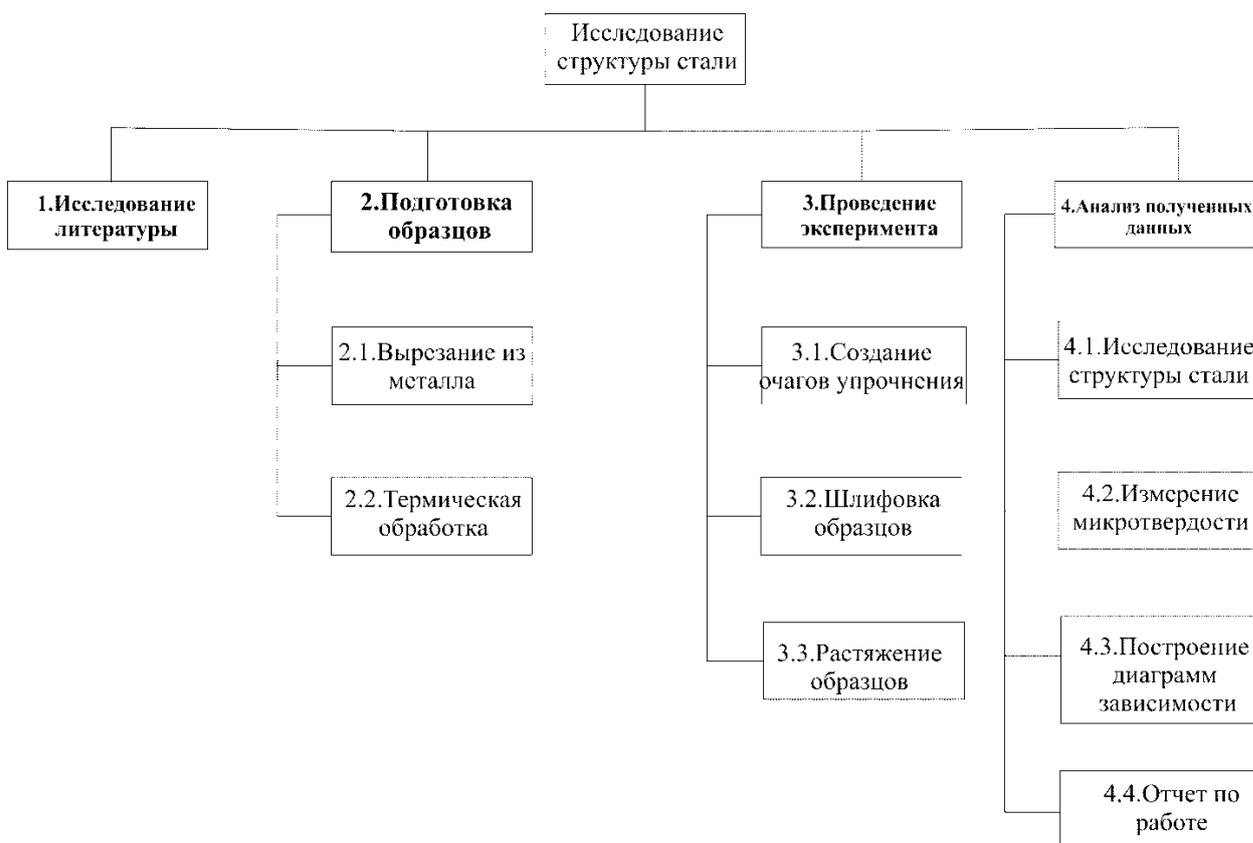


Рисунок 3.1 – Иерархическая структура работ по проекту

В рамках данного раздела определялись ключевые события проекта, их даты и полученные результаты, по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 8.

Таблица 8 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обработка литературы	1.02.2016	Постановление задач на исследование
2	Подготовка образцов	10.02.2016	Начало первой фазы эксперимента
3	Обработка образцов лазером	15.02.2016	Начало второй фазы эксперимента
4	Исследование на растяжение	20.02.2016	Получен достаточный объем данных в исследовании
5	Обработка данных	16.03.2016	Составлен отчет о результатах исследования

### 3.2.2. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Исследование литературы	16	15.01.2016	01.02.2016	Дао Дык Ань
2	Подготовка образцов				Зыков И.Ю.
2.1	Вырезание из металла	3	01.02.2016	03.02.2016	
2.2	Термическая обработка	2	4.02.2016	5.02.2016	

3	Проведение эксперимента				
3.1	Создание очагов упрочнения	2	14.02.2016	15.02.2016	Дао Дык Ань Лобанкова О.В.
3.2	Шлифовка образцов	1	19.02.2016	19.02.2016	Мельников А.Г. Лобанкова О.В.
3.3	Растяжение образцов	1	20.02.2016	20.02.2016	Зыков И.Ю. Дао Дык Ань
4	Анализ полученных данных				
4.1	Исследование структуры стали	6	21.02.2016	26.02.2016 6	Мельников А.Г. Дао Дык Ань
4.2	Измерение микротвердости	1	26.02.2016	26.02.2016 6	Мельников А.Г. Лобанкова О.В.
4.3	Построение диаграмм зависимости	2	28.02.2016	29.02.2016 6	Лобанкова О.В.
4.4	Отчет по работе	16	1.03.16	16.03.2016	Дао Дык Ань
Итого:		50	15.01.2016	16.03.2016	

Таблица 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ															
				январь			февраль			март									
				1	2	3	1	2	3	1	2	3							
1	Исследование литературы	дипломник	16																
2.1	Вырезание из металла	Руководитель	3																
2.2	Термическая обработка	Руководитель	2																
3.1	Создание очагов упрочнения	Дипломник, Исполнитель	2						 										
3.2	Шлифовка образцов	Консультант, инженер	1						 										
3.3	Растяжение образцов	Руководитель, дипломник	1						 										
4.1	Исследование структуры стали	Консультант, дипломник	6						 										
4.2	Измерение микротвердости	Исполнитель	1																
4.3	Построение диаграмм зависимости	Исполнитель	2																
4.4	Отчет по работе	дипломник	16																

 – руководитель    
  – дипломник    
  – инженер    
  – консультант

### 3.2.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

1) Сырье, материалы, покупаемые изделия и полуфабрикаты

Результаты по данной статье записаны в таблице 11.

Таблица 11 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сталь	У12, 60x16x3 см	3	100	300
Оформление документации	Лист А4	50	2	100
Всего за материалы				400
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				20
Итого по статье $C_m$				420

2) Специальное оборудование для научных работ

Результаты по данной статье записаны в таблице 12.

Таблица 12 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования/Аморт отчисления, тыс.руб.
1	Лазер Blacklight	1	1600	114
2	Микротвердомер пмт-3	1	39	39

### 3) Основная заработная плата

Таблица 13 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Исследование литературы	Исполнитель	16	667	10672
2	Подготовка образцов	Руководитель	5	1410	7050
3	Проведение эксперимента	Руководитель	1	1410	1410
		Консультант	1	1410	1410
		Исполнитель	3	879	2637
		Исполнитель	3	667	2001
4	Анализ полученных данных	Консультант	7	1410	9870
		Исполнитель	3	879	2637
		Исполнитель	22	667	14674
Итого:					52361

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 12);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (3)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочие дни. (таблица 14).

Таблица 14 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Консультант	Исполнитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней	104	104	104	104
- выходные дни	14	14	14	14
- праздничные дни				
Потери рабочего времени	24	24	24	24
- отпуск				

- невыходы по болезни				
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223	223	223
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 15 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_p$	$k_d$	$k_{пр}$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	23264	1,3	0	0	30243	1410	6	8460
Консультант	23264	1,3	0	0	30243	1410	8	11280
Исполнитель	14500	1,3	0	0	18850	879	6	5274
Исполнитель	11000	1,3	0	0	14300	667	41	27347

#### 4) Дополнительная заработная плата

В дополнительную заработную плату включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и

дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 16 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Руководитель	Консультант	Исполнитель	Исполнитель
Основная зарплата	8460	11280	5274	27347
Дополнительная зарплата	1015	1354	633	3282
Зарплата исполнителя	9475	12634	5907	30629
Итого по статье $C_{\text{зп}}$				58645

#### 5) Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot 58645 = 15893 \quad , \quad (6)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

#### б) Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную

тому. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70-90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 58645 = 46916, \quad (7)$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости исследования очагов воздействия лазерного излучения на поверхности углеродистой стали. Все данные по статьям сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи затрат	Размер затрат, р.
Прямые материальные затраты (сырье, комплектующие)	420
Спецоборудование для научных работ	39000
Основная заработная плата	52361
Дополнительная заработная плата	6284
Отчисления на социальные нужды	15893
Амортизационные отчисления	114000
Прочие накладные расходы	46916
Итого плановая себестоимость	274874

#### 4. Задание для раздела «социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
4B21	Дао Дык Ань

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	12.03.02 «Оптотехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочим местом является отдельное помещение (научная лаборатория). Так как данное помещение находится внутри здания, на проектировщика возможны действия следующих факторов: <ul style="list-style-type: none"><li>- Вредные факторы (монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровней шума)</li><li>- Опасные факторы (лазерное излучение, электрический ток, пожар)</li></ul>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Производственный шум. Отклонение показателей микроклимата. Недостаточная освещенность.  Лазерное излучение. Электробезопасность. Пожаробезопасность.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Рассмотреть воздействие на окружающую среду.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные чрезвычайные ситуации являются: пожары.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы).
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B21	Дао Дык Ань		

## **Введение**

С развитием техники нужно усовершенствовать методы безопасной работы, анализируя возможные риски при работе. При работе на с лазерами используется электроэнергия, возможно появление высокого давления, высоких и низких температур, разнообразных агрессивных или токсикологических соединений, большинство из которых обладает взрывоопасными или пожароопасными свойствами. Поэтому в последнее время становятся наиболее актуальными вопросы, касающиеся безопасности работы трудящихся.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в лаборатории при работе с лазерным комплексом, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников лаборатории опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

Для осуществления экспериментов применяется волоконный импульсный лазер мощностью 20 Вт, предназначенный в основном для гравировки на металлических и пластмассовых изделиях.

Лазер управляется с помощью ЧПУ с персонального компьютера.

Анализ опасных и вредных факторов

При выполнении работы с лазером на человека воздействует ряд опасных и вредных факторов.

Экспериментальная часть данной научно-исследовательской работы проводилась в лаборатории (к. 16в, ауд. 247) ТПУ и заключалась в глубокой выборке материала при помощи лазерного излучения.

Опасные факторы, возникающие при работе с лазером:

- прямое и отраженное лазерное излучение;
- поражение электрическим током при работе оборудования.

Вредные факторы:

- неблагоприятный микроклимат в рабочей зоне;

- недостаточная освещенность;
- вредное воздействие шума работающего оборудования.

Работа с лазером относится к работе легкой степени, так как для ее выполнения перенос предметов свыше 15 кг не осуществляется. В лаборатории поддерживалась температура 18-22 °С с влажностью 45-50 процентов, что соответствует нормам ГОСТа 12.1.005 – 88, согласно которому температура в лаборатории должна быть 18-22 °С.

Лазерное излучение представляет особую опасность для тканей, максимально поглощающих излучение. Сравнительно легкая уязвимость роговицы и хрусталика глаза, а также способность оптической системы глаза многократно увеличивать плотность энергии(мощность) излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона ( $780 < \lambda < 1400$  нм) на глазном дне по отношению к роговице делают глаз наиболее уязвимым органом. При повреждении появляется боль в глазах, спазм век, слезотечение, отек век и глазного яблока, помутнение сетчатки, кровоизлияние. Клетки сетчатки после повреждения не восстанавливаются.

Исходя из данных таблицы 18, установленный в лаборатории лазер относится к II классу.

Таблица 18 – Классификация классов опасности лазера

Класс лазера	Выходные излучения лазера
I	Не представляет опасности для глаз и кожи
II	Представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркальным отражением излучения
III	Представляет опасность при облучении глаз прямым, зеркальным отражением излучения, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности и (или) при облучении кожи прямым или зеркальным отражением излучения

IV	Представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности
----	---

Основными нормативными правовыми актами при оценке условий труда являются:

- "Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров" № 2392-81; методические рекомендации "Гигиена труда при работе с лазерами", утвержденные МЗ РСФСР 27.04.81 г.;

- ГОСТ 24713-81 "Методы измерений параметров лазерного излучения. Классификация"; ГОСТ 24714-81 "Лазеры. Методы измерения параметров излучения. Общие положения"; ГОСТ 12.1.040-83 "Лазерная безопасность. Общие положения"; ГОСТ 12.1.031 -81 "Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения".

Предупреждение поражений лазерным излучением включает систему мер инженерно-технического, планировочного, организационного, санитарно-гигиенического характера.

При использовании лазеров II-III классов в целях исключения облучения персонала необходимо либо ограждение лазерной зоны, либо экранирование пучка излучения. Экраны и ограждения должны изготавливаться из материалов с наименьшим коэффициентом отражения, быть огнестойкими и не выделять токсических веществ при воздействии на них лазерного излучения.

При размещении в одном помещении нескольких лазеров следует исключить возможность взаимного облучения операторов, работающих на различных установках. Не допускаются в помещения, где размещены лазеры, лица, не имеющие отношения к их эксплуатации. Запрещается визуальная юстировка лазеров без средств защиты.

Для удаления возможных токсических газов, паров и пыли оборудуется приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Для защиты от

шума принимаются соответствующие меры звукоизоляции установок, звукопоглощения и др.

К индивидуальным средствам защиты, обеспечивающим безопасные условия труда при работе с лазерами, относятся специальные очки, щитки, маски, обеспечивающие снижение облучения глаз до ПДУ.

Средства индивидуальной защиты применяются только в том случае, когда коллективные средства защиты не позволяют обеспечить требования санитарных правил.

Тип освещения лаборатории совмещенный, при котором недостаточное освещение дополняется искусственным.

Все электрические приборы в лаборатории только заводского производства. Нагревательные приборы имеют постоянное место с достаточной тепловой изоляцией.

### **Освещенность**

Успешное выполнение рабочих операций требует рационального освещения помещений и рабочих мест, что часто достигается совмещением естественного и искусственного освещения.

По освещенности лаборатория относится к IVа разряду зрительной работы (работа со средней точностью), наименьший размер объекта различения свыше 0,5-1,0 мм, величина нормируемой освещенности составляет 200 лк и соответствует требованиям СНиП 23 – 05 – 95.

Для освещения помещения в соответствии с характером выполняемых работ применяют люминесцентные лампы низкого давления дневного света ЛБ - 40 со светильниками рассеянного света типа ОД.

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год. Для это используется портативный люксметр "ТКА-Люкс".

### **Расчет освещенности**

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное

психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Помещение имеет размеры:

длина  $A=6$  м, ширина  $B=6$  м, высота  $H=3$  м.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

В лаборатории производятся работы средней точности, (минимальная величина различия составляет 0,5-1мм).

Методика расчёта освещения в литературе.

Рекомендуемая освещенность помещения, при среднем контроле различия с тёмным фоном, составляет  $E_0=200$  лк, учитывая коэффициент запаса (загрязнение светильника)  $K=1,3$ , получаем освещенность в помещении:

$$E = E_0 \cdot K = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ лк}.$$

Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны:  $q_{\text{п}}=70\%$ ,  $q_{\text{с}}=70\%$ . Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 3 - 1 = 2 \text{ м},$$

где  $h_p$  – высота рабочей поверхности.

Для освещения используются двухламповые светильники ШЛД люминесцентные лампы типа ЛБ-40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет  $g=1,3$ . Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \cdot h = 1,3 \cdot 2 = 2,6 \text{ м}.$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,6} = 2,3.$$

где  $B$  – ширина помещения.

Выбираем  $n=2$  ряда светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A+B) \cdot n} = \frac{36}{(6+6) \cdot 2} = 1,5.$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_n + q_c}{2} = \frac{70\% + 70\%}{2} = 70\%.$$

Световой поток лампы ЛБ-40 составляет  $F_0=2480$  лм. Тогда световой поток светильника, состоящего из 2 ламп:  $F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2480 = 4960$  лм.

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{260 \cdot 36 \cdot 1,1}{1 \cdot 4960 \cdot 0,7 \cdot 1} = 2,9 \approx 3.$$

где  $Z=1,1$  – коэффициент непрерывности;

$\gamma=1$  – коэффициент затемнения.

При длине светильника  $l_{св}=1,27$  м, их общая длина составляет:

$$l_{общ} = N \cdot l_{св} = 3 \cdot 1,27 = 3,81 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{общ}}{N + 1} = \frac{6 - 3,81}{3 + 1} = 0,55 \text{ м.}$$

Схема расположения светильников в лаборатории представлена на рисунке 4.1.

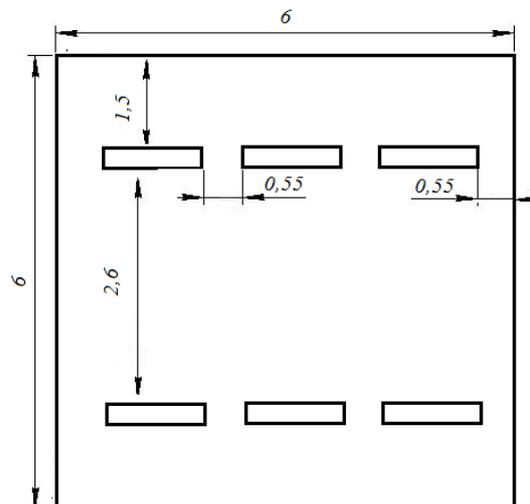


Рисунок 4.1. – Схема расположения светильников

Таким образом, в лаборатории необходимо установить по 3 светильника в два ряда.

### **Шум**

В данной лабораторной работе шум возникает при глубокой гравировке и при работе персонального компьютера.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Уровни шума не должны превышать значений, установленных в, и проводится не реже двух раз в год.

По СНИП 2.2.4/2.1.8.562-96 нормируются параметры шума и составляют:

- для лаборатории ПДУ составляет 75 дБА;
- для вентиляции ПДУ составляет 70 дБА;
- при работе с компьютером составляет 50 дБА.

Для контроля уровня шума используется шумомер, анализатор спектра Экофизика-110 А.

Меры по борьбе с шумами:

- правильная организация труда и отдыха;

- снижение и ослабление шума;
- применение звукопоглощающих преград;
- применение глушителей шума;
- применение средств индивидуальной защиты от шума.

### **Микроклимат**

Под микроклиматом понимают качество воздушной среды в рабочей зоне. Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих (более 2-х часов непрерывно).

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока.

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны регламентированы ГОСТ 12.1.005 – 88.

Для лаборатории существует оптимальная и допустимая норма температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Для холодного и переходного периодов года оптимальные параметры микроклимата следующие: оптимальная температура воздуха 20-25 °С (допустимая 19-25 °С), оптимальная относительная влажность 40-70 % (допустимая 75 %), оптимальная скорость движения воздуха до 0,2 м/с (допустимая до 0,2 м/с).

Для теплого периода оптимальные параметры микроклимата следующие: температура воздуха 18-22 °С, относительная влажность 40-70 %, скорость движения воздуха до 0,2 м/с.

Все показатели микроклимата в лаборатории соответствуют стандартным нормам СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Температуру в рабочей зоне в холодное время поддерживается отопление, а в теплой вентиляции.

Температуру и относительную влажность воздуха при наличии источников теплового излучения и воздушных потоков на рабочем месте следует измерять аспирационными психрометрами.

### **Техника безопасности. Электробезопасность**

Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции и др.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, места протекания тока, индивидуальных свойств человека. Наиболее опасным для человека является переменный ток с частотой 20 – 100 Гц. Опасной величиной тока является ток, равный 0,001 А, а смертельный 0,1 А. Также исход электропоражения зависит от состояния внешней среды.

Устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов по ГОСТ 12.1.038 – 82. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет.

Наибольшую опасность при эксплуатации электрических устройств и проведении ремонтно-профилактических работ представляет поражение электрическим током вследствие присоединения к токоведущим частям аппаратуры и к частям прибора, находящимся под напряжением.

Данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности по ГОСТ 12.1.013—78. Это сухое беспыльное помещение с нормальной температурой (относительная влажность не превышает 50%) и изолирующими полами. Для защиты персонала, обслуживающего электротехнические установки, от поражения электрическим током применяются защитные средства, которым относятся диэлектрические перчатки, инструменты электромонтеров с изолирующими ручками, заземляющие штанги.

Фактор поражения электрическим током требует проведения мероприятий по его устранению.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлении, ремонтно-наладочные работы на действующих электроустановках производится только с использованием защитных средств;

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются.

### **Статическое электричество**

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при

непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Основной способ защиты от статического электричества - заземление оборудования.

### **Пожарная безопасность**

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ППБ – 01 – 03 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории В. (в ред. Федерального закона от 10.07.2012 N 117-ФЗ).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

б) самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

а) сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж;

б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;

в) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования;

г) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте.

Для тушения пожаров, на в случае их возникновения, в лаборатории имеются следующие средства:

- огнетушители ОУ-5 ВСЕ, углекислотные огнетушители, предназначены для тушения различных веществ, горение которых не может происходить без доступа кислорода, электроустановок, находящихся под напряжением до 10000 В, в офисных помещениях при наличии оргтехники, а также в жилом секторе. Основным преимуществом углекислотных огнетушителей является то, что двуокись углерода не повреждает объект тушения и не оставляет следов.

- для обесточивающих горячих электрических приборов на горизонтальной поверхности применяют песок;

- листовой асбест используется для тушения горючих жидкостей, обесточенных приборов, горячей одежды.

План эвакуации персонала с лаборатории при возникновении пожара представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2. – План эвакуации

В корпусе на этаже имеются 3 огнетушителя, все предназначены для тушения загорания различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 10000 В. При возникновении пожара необходимо выдернуть чеку, направить раструб в сторону огня, нажать на рычаг запорного устройства и приступить к тушению пожара.

### **Охрана окружающей среды**

В настоящее время, когда вопрос встает проблема рационального использования природных ресурсов, охраны окружающей среды, уделяется большое внимание организации разумного воздействия на природу. Необходимо совершенствовать технологические процессы с целью сохранения окружающей среды от вредных выбросов. Комплексное использование сырья прогрессивно с позиции экологии. Разработаны безотходные технологии, позволяющие вернуть отходы вновь в производство. Несмотря на успехи в области комплексного использования сырья в промышленности имеются значительные неиспользованные возможности.

При выполнении научно-исследовательской работы используются вещества, обеспечивающие минимальное воздействие на окружающую среду. Используемые вещества расходуются в минимальных количествах.

Разработка наиболее эффективного и экономически выгодного способа очистки сточных вод непременно приведет к улучшению состояния окружающей среды, так как на данный момент большинство предприятий сбрасывает сточные воды прямо в водоемы, выплачивая при этом огромные штрафы.

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

## **Заключение**

В нашем исследовании была поставлена цель – выявление структуры и характеристики упроченных очагов, созданных в поверхностном слое углеродистой стали импульсами лазерного излучения.

Для реализации поставленной цели были решены поставленные во введении задачи.

1. В работе систематизированы теоретические основы упрочнения поверхностного слоя стали, в том числе с применением лазерного излучения.

2. Изучены структуру и параметры упроченных очагов; проанализированы структуру очагов металлографическим и рентгеноструктурным методом; определены распределение микротвердости стали в очаге; сравнены результаты измерения микротвердости двух видов сталей У12 и Х12. В работе показано, что при поверхностной лазерной обработке различных сталей микротвердость меняется неоднозначно. Изложены результаты измерения микротвердости в закаленных образцах стали в зависимости от расстояния от центра области лазерного воздействия.

3. Исследованы назначение «социальной ответственности».

4. Просмотрены финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В будущем перспективе наша работа продолжится в направлении изучения влияние очагов на пластичности стали.

Наша работа рекомендуется студентам, преподавателям, ученым и учащимся лазерной обработки металла.

## Список использованных источников и литературы

1. BlackLight – Компактная система для лазерной сварки в ручном режиме / сайт «Лазерный центр» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.newlaser.ru/laser/lc/blacklight.php> – (дата обращения 10.05.2016).
2. Башнин Ю.А., Исакина В.Н., Масленкова Е.А. Влияние переплавных процессов на структуру и свойства стали // М., Metallurgia. – 1991. – 240 с.
3. Гинье А. Рентгенография кристаллов // М., Государственное издательство физико-математической литературы. – 1961. – 604 с.
4. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение. – 1989. – 304 с.
5. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2006. – 665 с.
6. Лазерное термоупрочнение / сайт «Новые технологии лазерного термоупрочнения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lhit.ru/index.php/lazernoe-termouprochnenie> – (дата обращения 10.05.2016).
7. Лосев В. Ф., Морозова Е. Ю., Ципилев В. П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета. – 2011. – 199 с.
8. Магин Д.Ю., Костромин С.В. Исследование структуры и свойств высокопрочной теплостойкой стали после объемной термической обработки и лазерного поверхностного упрочнения // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 256–261.
9. Майоров В.С. Лазерное упрочнение металлов // Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. - М.: Физматлит. – 2009. – 664 с.

10. Огин П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке // Вектор науки ТГУ. – 2015. – № 2 (32-2). – С. 130-135.
11. Синяков К.А. Влияние скорости нагрева на структуру и свойства инструментальных сталей // Инструмент и технологии. – 2008. – № 5. – С. 151–158.
12. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: Учеб. Пособие / Т.Ю. Степанова – г. Иваново. – 2009. – 64 с.
13. Ярьско С.И. Анализ стойкости и изнашивания твердосплавного инструмента после лазерной термообработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. Т. 3. – № 1. – С. 27–37.