

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование глубины проплавления и изменения структуры стали Р6М5 при воздействии на поверхность импульсным лазерным облучением различной мощности

УДК 621.791.725.012:669.14.018.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Хайдарова А.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Данков А. Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Мезенцева И. Л.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение. Машины и технологии сварочного производства.	Гнюсов С.Ф.	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Гнюсов С.Ф.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна

Тема работы:

Исследование глубины проплавления и изменения структуры стали Р6М5 при воздействии на поверхность импульсным лазерным облучением различной мощности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №8896/с от 18.10.16 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Образцы, выполненные плазменной наплавкой порошка стали Р6М5, на платины из стали 20 и обработанные лазерным излучением различной мощности.</i>
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор 2. Методика и материалы исследования 3. Результаты эксперимента 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Литературный обзор Методика и материалы исследования Результаты эксперимента</p>	<p>Хайдарова Анна Александровна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p>	<p>Данков Артем Георгиевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Методика и материалы исследования</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>20.10.16г.</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Хайдарова Анна Александровна</p>	<p>Кандидат технических наук</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>1ВМ61</p>	<p>Матрунчик Мария Сергеевна</p>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка сравнительной эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
<i>2. Матрица SWOT</i>
<i>3. Альтернативы проведения НИ</i>
<i>4. График проведения и бюджет НИ</i>
<i>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков Артем Георгиевич	К.И.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является образец стали Р6М5 при воздействии на него лазерным лучом различной мощности. Сталь применяется в промышленности для изготовления различного инструмента (ножи, развертки, плашки, резцы).
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности.	Вредные факторы: - Повышение уровня шума - Монотонный режим работы - Недостаточное освещение - Отклонение показателей микроклимата Опасные факторы: - Поражение электрическим током - Поражение лазерным излучением
2. Экологическая безопасность:	В научно-технической лаборатории, которой проводились исследования вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, вредных воздействий на окружающую среду не оказывалось.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможными чрезвычайными ситуациями являются ситуации природного и техногенного характера.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Размещение лазерных изделий, организация рабочих мест и помещений производится в соответствии с ГОСТ Р 50723-94

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна		

Реферат

Магистерская диссертация 83 с., 5 рис., 21 табл., 38 источников, 1 прил.

Ключевые слова: лазер, лазерное излучение, лазер, плазменная наплавка, поверхностное упрочнение, закалка, зона термического влияния, твердость.

Объектом исследования является покрытие на основе стали Р6М5, подверженное лазерному излучению.

Целью данной работы является исследование глубины проплавления и изменения структуры стали Р6М5 при воздействии на поверхность импульсным лазерным облучением различной мощности.

В процессе исследования подвергали лазерному излучению поверхностный слой образца, замерыли уровень твердости поверхностного слоя образца, обработанного лазерным излучением.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение импульсов лазерного облучения малой мощности (8,8 Вт) способствует формированию точек оплавления глубиной до 350 мкм, в которых отсутствуют дефекты в виде пор. Увеличение длительности импульса в этом случае способствует незначительному росту геометрических параметров точек: диаметра и глубины проплавления.

2. С ростом мощности импульсного лазерного облучения в пять раз наблюдается увеличение диаметра точек в 1,5 раза и глубины проплавления в 5 раз. Проплавление приобретает кинжальную форму с формированием дефектов в виде пор.

3. Оплавление стали Р6М5 импульсами лазера способствует формированию дендритно-ячеистой структуры в центре литого ядра с сохранением большого количества аустенита, что оказывает влияние на

уменьшение твердости в данной области. В зоне термического влияния происходит формирование закалочных структур с большим количеством мартенсита, способствующих повышению твердости.

4. Наилучшее формирование зоны оплавления наблюдается при использовании четвертого режима: средняя мощность импульса 47,9 Вт, длительность импульса 4 мс, диаметр сфокусированного пучка 0,2 мм. Данный режим позволяет получить точку с равномерным проплавом без дефектов.

Содержание	
Введение	11
1 Обзор литературы	12
1.2 Способы упрочнения металлов и сплавов	17
1.2.1 Термические методы	17
1.2.2 Методы поверхностной деформации (поверхностного наклепа)	18
1.2.3 Химико-термические методы	19
1.2.4 Метод газотермического напыления	21
1.2.5 Метод наплавка	23
1.3 Лазерная технология поверхностного упрочнения	24
2 Методика и материалы исследования	28
3 Результаты исследования	30
4 Предпроектный анализ	41
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	41
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
4.3 SWOT-анализ	43
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	47
4.4.1 План проекта	47
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования	47
4.4.3 Бюджет научно-технического исследования	50
4.4.4 Расчет материальных затрат НИИ	51
5 Социальная ответственность	55
5.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	56
5.1.1 Анализ превышения уровня шума	56
5.1.2 Анализ монотонного режима работы	57
5.1.3 Анализ недостаточной освещенности	57
5.1.4 Отклонение показателей микроклимата	58
5.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	60

5.2.1 Анализ поражение электрическим током	60
5.2.2 Анализ поражения лазерным излучением	61
5.3 Экологическая безопасность	61
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	61
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
Заключение	68
Список использованных источников	69
Приложение А	73

Введение

В настоящее время активно исследуются поверхности инструментальных сталей при облучении их концентрированными потоками энергии (КПЭ) [1-5]. Воздействие КПЭ на поверхность таких сталей в течение короткого промежутка времени за счет аустенитно-мартенситных превращений в приповерхностном объеме материала способствует повышению твердости, износостойкости, прочности и усталостной сопротивляемости поверхности.

За счет таких преимуществ, как быстрота воздействия, малая зона термического влияния, минимальные деформации, отсутствие вакуума и др. предпочтение отдаётся лазерному импульсному излучению в качестве поверхностной обработки металлов.

В связи с недостаточным количеством сведений по влиянию импульсного лазерного излучения на поверхность инструментальных сталей типа Р6М5 целью данной работы является исследование влияния параметров режима импульсного лазерного воздействия на структуру и глубину проплавления облученной поверхности стали Р6М5 [1-5].

1 Обзор литературы

Сварка – наиболее универсальный и действенный способ соединения элементов при промышленном конструировании в самых разнообразных индустриальных областях. Лазер – тепловой источник с высокой плотностью энергии. Поэтому лазерная сварка признана всеми как передовая технология соединения материалов лазерным лучом высокой мощности и высокой плотности энергии. Среди всех сварочных процессов лазерная сварка реализует самые разнообразные соединения металлов или пластиков толщиной от очень тонких листов, примерно 0,01мм, до толстых пластин, около 50мм, в среде защитного газа, (гелий (He), аргон (Ar) или иногда азот (N₂) в воздушной среде. Данный способ приобрел большую популярность как перспективная высококачественная технология соединения, обеспечивающая высокую точность, высокую производительность, высокую скорость, гибкость и низкое искажение [6-9].

Сотрудник Bell Laboratories, С. К. Н. Патель, в 1964 году изобрел СО₂-лазер. Он добился превосходных результатов, создав конструкцию СО₂-лазер мощностью до 1 мВт. Позднее усилиями многих других разработчиков и конструкторов мощность и эффективность этого лазера были значительно повышены за счет добавления к активной лазерной среде азота и гелия. В 1966 году компания Coherent выпустила на рынок первый коммерческий СО₂– лазер мощностью 100 Вт.

С конца 1970-х и 1980-х годов в автомобильной промышленности началось применение СО₂-лазерной сварки. Различные части силовых агрегатов, включая элементы коробки передач, ступицы и валы, были сварены СО₂-лазером (Petring, 2004).

Высокая производительность, низкий приток тепла и низкий уровень искажений стали основными преимуществами лазерной сварки по сравнению

с другими процессами. И до сих пор СО₂-лазеры используются для этих

задач. Лазерная сварка широко внедрена в производство таких частей кузова автомобиля, как двери, передние и боковые панели, боковые балки и арки колес.

В Европе в середине 1990-х годов был разработан ряд национальных проектов с использованием основных принципов лазерной сварки в среде CO_2 .

Тем не менее, в конце 1990-х годов уровень использования CO_2 -лазеров снизился. Это было связано с установкой на конвейерных линиях промышленных роботов с Nd:YAG-лазерами, которые были приспособлены для проведения трехмерной лазерной сварки. Использование дистанционной лазерной сварки началась с 2000-х годов для производства компонентов кузова автомобиля. Лазерный модуль, снабженный высокоскоростными сканирующими зеркалами, формирует лазерное пятно, которое быстро перемещается по обрабатываемой поверхности, покрывая требуемую широкую область, и быстро сваривает отдельные участки. В таких модулях установлены лазеры с высоким качеством луча и большим фокусным расстоянием, обычно большим одного метра. Слэб (Slab) CO_2 -лазеры были впервые использованы для получения лазерных пучков высокого качества. Их основные преимущества – уменьшение тактового времени и высокая производительность [7].

Благодаря прогрессу в разработке и создании мощных дисковых и волоконных лазеров с высоким качеством пучка появилась новая система дистанционной сварки как части роботизированной сварки. Использование волоконных и дисковых лазеров делает дистанционную сварку более гибкой и быстрой, благодаря этому ее использование расширяется [7].

В авиационной промышленности Airbus начал применять CO_2 -лазеры для сварки стрингера и обшивки фюзеляжа на панелях самолетов в начале 2000-х (Schumacher et al., 2002; Vollertsen et al., 2004). Это было достигнуто благодаря развитию лазерных сварочных модулей, а также благодаря созданию сплава Al-Mg-Si-Cu. Вместо обычной клепки стрингеры

соединяют с обшивкой путем одновременной лазерной сварки с обеих сторон. Чтобы избежать образования горячих трещин, используется сварочная проволока Al-12% Si. Снижение веса, высокая производительность, улучшение коррозионной стойкости и хорошие экономические характеристики являются основными преимуществами замены традиционного процесса клепки лазерной сваркой.

Первым применением лазерной сварки в судостроении стало производство трехслойных панелей на верфи Meyer Werft в середине 1990-х. Тогда производилась сварка плоских панелей до 10 мм в толщину к балкам с помощью CO₂-лазера мощностью 12 кВт. С применением новой технологии были достигнуты высокие показатели: снижение веса при высокой прочности, повышение твердости и уменьшение уровня искажений. В Европе в середине 1990-х годов был разработан ряд национальных проектов с использованием основных принципов лазерной сварки в среде CO₂. Это форсировало применение лазерной сварки в области судостроения. Сварка длинных прямых стыковых швов и угловая сварка толстых стальных пластин были внедрены в компаниях Odense Steel Shipyard (Sellerup, 1999), Fincantieri (Manzon, 1998) и Blohm & Boss (Kahl, 1998) в конце 1990-х годов. Используемая ими линия состоит из платформы, оснащенной мощными CO₂-лазерами от 12 до 18 кВт. Линия включает в себя системы контроля и управления с обратной связью, подготовку краев и систему обработки, а также систему подачи проволоки. Наиболее привлекательным преимуществом установки лазера высокой мощности является уменьшение искажений, это значительно снижает общие трудозатраты на дополнительные операции правки [8].

Улучшение механической точности позволило автоматизировать производственную линию и достичь высокого уровня производительности. В компании Meyer Werft были установлены четыре лазер/GMA гибридных сварочных установки с конца 1990-х до начала 2000-х годов. И в настоящее время доля гибридных сварных швов на большом круизном судне близится к

50% от общей длины всех швов. Благодаря гибкости систем подачи волокна на некоторых судостроительных предприятиях были установлены волоконные и дисковые лазеры. Тем не менее, от CO₂-лазеров предпочитают не отказываться, так как они обеспечивают стабильность сварочного процесса. Эти лазеры также установлены на новых линиях [8].

С начала 1980-х годов в металлургии стали использовать 5–10 кВт CO₂-лазеры для сварки листов горячего или холодного проката на линиях непрерывной сварки. Замена стыковой сварки на лазерную сварку привела к тому, что качество сопряжения листов было значительно улучшено. В начале 2000-х годов для сварки горячих стальных стержней толщиной 30 мм на непрерывной линии чистовой прокатки были применены два 45 кВт-ных CO₂-лазера (Minamida, 2002).

В начале 1980-х годов для повышения производительности CO₂-лазеры стали использовать для изготовления сварных труб малого диаметра из нержавеющей стали. И до сих пор в этой области применяются CO₂-лазеры. В середине 1990-х годов для изготовления труб со средним диаметром и толстостенных труб была применена сварка CO₂-лазером мощностью 25 кВт в сочетании с высокочастотной индукционной катушкой подогрева (Hayashi et al., 1996; Ono et al., 2001) [8].

Высокомощные CO₂-лазеры оказались востребованными при изготовлении изделий по заказам некоторых химических заводов, например, заводов по переработке нефти. Тавровые профили также могут быть изготовлены при помощи CO₂-лазеров, где 25 мм стрингер приварен к балке. Компоненты плазменного реактора, используемого для производства таких сложных полупроводниковых материалов, как углеродные нанотрубки, изготавливаются также методом лазерной сварки в среде CO₂, потому что CO₂-лазерная сварка обеспечивает низкий уровень искажений. По этой же причине сварка с помощью CO₂-лазеров является одной из технологических операций при производстве коньковой спортивной обуви.

Лазерная сварка CO_2 применялась в различных отраслях промышленности с середины 1970-х годов. В начале 1990-х годов были разработаны Nd:YAG-лазеры мульткиловаттного класса. Их большое преимущество заключается в системе подачи лазерного излучения в рабочую зону по оптоволокну, хотя, заметим, качество пучка YAG-лазеров стержневого уступает качеству пучка CO_2 -лазеров. Поэтому применение YAG-лазерной сварки ограничено в основном областью сварки тонких пластин [6-9].

В середине 2000-х годов были разработаны дисковые и волоконные лазеры высокой мощности. Поскольку качество луча этих лазеров очень высокое, их стали использовать не только для сварки тонких пластин, но и при сварке тяжелых крупных профилей. По причине бурного развития и внедрения этих лазеров заметно снижается использование CO_2 -лазерной сварки в индустрии. Тем не менее, остается ряд задач, по-прежнему недоступных для волоконной и дисковой лазерной сварки из-за сопровождающих их проблем полного оплавления, разбрызгивания и наличия узкого диапазона оптимальных условий для проведения процесса сварки. Пока эти проблемы не будут решены, CO_2 -лазерная сварка по-прежнему будет востребована, а CO_2 -лазеры пользоваться спросом.

К 2000 г. количество изготовленных лазерных станков превысило 250 единиц.

Стратегические задачи России в 2009 г. изменились и президентом Д. А. Медведевым был принят курс на модернизацию страны. Невостребованные до этого такие сложные технологии как лазерная сварка, наплавка, поверхностное упрочнение, определили потребность в развитии предприятия и привлечения специалистов с более высоким и специальным уровнем подготовки. Потребность в квалифицированной работе прежде всего технологов и конструкторов. Была проведена огромная работа по представлению проектов по лазерной сварке, наплавке, поверхностному упрочнению, лазерной резке сталей толщиной более 20 мм [6-9].

1.2 Способы упрочнения металлов и сплавов

Поверхностное упрочнение металлов и сплавов широко используется в индустрии промышленности, в частности в современном машиностроении. Оно позволяет получить высокую твердость и износостойкость поверхностного слоя при сохранении довольно вязкой сердцевины, содействует повышению долговечности и усталостной прочности. Большая часть деталей машин работает в условиях износа, коррозии, а также циклических нагрузок, разрушающих поверхностный слой материала. Поэтому к свойствам поверхностного слоя металла предъявляются другие требования, нежели к свойствам внутренних слоев. Использование различных видов лазерного упрочнения дает возможность существенно сократить расход дефицитных высоколегированных сталей при изготовлении ответственных деталей машин, инструментов, повысить надежность, долговечность выпускаемых изделий [14].

На сегодняшний день существует множество способов упрочнения поверхности металлов и сплавов с целью повышения их эксплуатационных характеристик, таких как твердость, коррозионная стойкость, усталостная прочность и других. Все эти способы разделяются на следующие основные методы:

1.2.1 Термические методы

К методам термической обработки относятся:

- Поверхностная закалка
- Рекристаллизация

«Поверхностная закалка - эффект упрочнения при лазерном воздействии на металлические материалы наблюдается вследствие сверхвысоких скоростей нагрева и последующего охлаждения облучаемого материала.

При закалке высокую твердость приобретает лишь часть поверхностного слоя деталей. Остальная часть не закаливается и сохраняет структуру и свойства, которые были до закалки.

Детали сложной формы, ленточные пилы, режущий инструмент (фрезы, сверла), рычаги, оси подвергают импульсной поверхностной закалке. Для этого закаливаемую часть детали нагревают до температуры, превышающей температуру обычного нагрева данного материала под закалку, и затем охлаждают с большой скоростью за счет отвода тепла в остальную массу детали без применения охлаждающих сред. В результате импульсной закалки получают закаленный «белый» слой, устойчивый при отпуске до температуры 450 °С, обладающий мелкозернистой структурой, высокой твердостью и износостойкостью» [11].

1.2.2 Методы поверхностной деформации (поверхностного наклепа)

Чеканка – процесс, нанесения ударов при помощи специального приспособления (механического, пневматического, электромеханического) и инструмента (например, ударника с бойком) по упрочняемой поверхности, с целью снятия остаточных напряжений сжатия.

Обкатка – это перемещение прижатого к поверхности детали деформирующего элемента (ролик или шарик) с фиксированным усилием, совершая при этом вращение вокруг своей оси. В зоне локального контакта возникает очаг пластической деформации, который перемещается вместе с инструментом, благодаря чему поверхностный слой последовательно деформируется на некоторую глубину.

Алмазное выглаживание – заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом – выглаживателем. При выглаживании неровности поверхности, оставшиеся от предшествующей операции, сглаживаются частично или полностью, уплотняя поверхностный слой.

Преимущества:

- высокая твердость поверхностного слоя, в нем образуются сжимающие остаточные напряжения, изменяется микроструктура;
- повышается износостойкость, сопротивление усталости.

Деформационное старение – это процесс, изменения механических свойств сталей во времени, может проходить и после холодной пластической деформации. Такое старение развивается в течение нескольких минут при температуре 200–350 °С, и в течение 15–16 суток при комнатной температуре [10].

1.2.3 Химико-термические методы

Эти методы основаны на процессе поверхностного насыщения стали различными элементами, путем их диффузии из внешней среды при высокой температуре. Цель химикотермической обработки – поверхностное упрочнение металлов и сплавов и повышение их стойкости против воздействия внешних агрессивных сред при нормальной и повышенной температурах. Процессы химико-термической обработки состоят из трех стадий :

- диссоциации, которая заключается в распаде молекул и образовании активных атомов диффундирующего элемента;
- адсорбции, т.е. контактирования атомов диффундирующего элемента с поверхностью изделия и образования химических связей с атомами металла;
- диффузии, т.е. проникновения насыщающего элемента в глубь металла. Скорость диффузии при проникновении диффундирующих атомов в решетку растворителя будет выше, если при взаимодействии образуется твердые растворы внедрения,

и значительно ниже, если образуются твердые растворы замещения.

Цементация – химико-термическая обработка, которая заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при температуре 900–950 °С. Цементации подвергаются стали с низким содержанием углерода (до 0,25%).

Азотирование – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом при нагреве ее до 500-650 °С в аммиаке. Азотирование повышает твердость поверхностного слоя детали, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии в атмосфере, воде, паре и т.д. Твердость азотированного слоя стали выше, чем цементованного и сохраняется при нагреве до высоких температур (450-550 °С), тогда как твердость цементованного слоя, имеющего мартенситную структуру, сохраняется только до 200-225°С. Известен метод азотирования при помощи лазерного излучения. Выполняется он с использованием паст на основе аммиачной соли, карбамида и др. Для азотирования сталей из газовой необходимо создать над поверхностью давление азота порядка 9 МПа, что делает затруднительным практическое применение данного процесса, в то время как титан, цирконий, гафний и сплавы на их основе достаточно подвергнуть лазерному оплавлению в струе азота [11].

Цианирование и нитроцементация – процессы диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом и углеродом. Причем, процесс совместного насыщения поверхности азотом и углеродом в жидких ваннах принято называть цианированием, а насыщение в газообразных средах – нитроцементацией [10].

Процесс нитроцементации обычно ведут при температурах 840–860 °С в газовой среде с добавками природного газа (метана) и аммиака. Чем больше толщина требуемого слоя насыщения, тем меньше должно быть содержание аммиака и метана и выше температура химико-термической обработки. Основное назначение нитроцементации – повышение твердости,

износостойкости стальных деталей. Эффективная толщина насыщаемого слоя не должна превышать 1 мм, так как при большей толщине в структуре слоя появляются фазы, резко снижающие предел выносливости и контактную выносливость материала.

Цианирование проводят при температурах от 820 до 960 °С в расплавленных солях, содержащих цианистые соли, причем с повышением температуры химико-термической обработки доля углерода в слое растет, а азота – понижается. Цианирование применяется для изделий из низкоуглеродистых и низколегированных сталей и используют для повышения их поверхностной твердости, износостойкости, предела выносливости при изгибе. Главным достоинством цианирования является небольшая длительность процесса химико-термической обработки, малые деформации и коробления детали в ходе процесса насыщения, малые потери тепла [11].

Борирование – процесс химико-термической обработки, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали бором при нагревании в соответствующей среде. Температура насыщения 930-960 °С при выдержке 2-6 ч. Это один из наиболее эффективных и универсальных процессов химико-термической обработки. Борирование может осуществляться в твердых, жидких и газообразных средах. Лазерное борирование проводят, в основном, с использованием легирующих составляющих в твердой фазе в виде смеси порошков бора, карбида бора, борного ангидрида, буры, ферробора со связующим веществом. В отличие от цементации и азотирования при борировании в структуре отсутствует остаточный аустенит, что обеспечивает высокие твердость и износостойкость [11].

1.2.4 Метод газотермического напыления

Данный процесс газотермического напыления заключается в расплавлении материала покрытия (проволока, порошок) с последующим напылением его на основу в газовом потоке.

Технология газотермического нанесения покрытий экономически эффективна, т.к. не требует дорогостоящего вакуума, обеспечивает высокую производительность, характеризуется небольшой трудоемкостью и позволяет наносить покрытия на крупногабаритные изделия.

Высокоскоростное газопламенное напыление – характеризуется высокими скоростями нанесения порошкового покрытия на материал подложки. Скорости нанесения обычно превосходит скорость звука не менее, чем в 5 раз.

Плазменное напыление – заключается в том, что в высокотемпературную плазменную струю подается материал, который нагревается, плавится и в виде двухфазного потока направляется на подложку. При ударе и деформации происходит взаимодействие частиц с поверхностью основы или напыляемым материалом. Часто используются для создания керамических покрытий, сочетающих свойства износостойкости с изоляцией тепла или электричества.

Электродуговая металлизация – этот процесс непрерывного плавления металла, распылении его на мельчайшие частицы и нанесении на подготовленную поверхность. Попадая на металлизированную поверхность, частицы деформируются, нагромождаются друг на друга и образуют металлизационное покрытие слоистого строения. Температура изделия в ходе напыления не превышает 120 °С.

Недостатками данного метода являются:

- большая пористость получаемого покрытия;
- высокий расход материала.

Детонационное напыление - является одним из видов газотермического нанесения покрытий, использующих энергию горючих газов (в основном пропан-бутана) в смеси с кислородом, а также со сжатым

воздухом (азотом, аргонem). Детонационно-газовый метод, используя энергию взрыва газовых смесей, является циклическим процессом, обладает высокой удельной мощностью.

Преимуществами данного метода являются:

- высокая адгезия покрытия;
- низкая пористость;
- отсутствие деформации.

К недостаткам можно отнести:

- довольно низкую производительность;
- недостаточную надежность оборудования.

Газопламенное напыление. Металлический либо полимерный порошковый, проволочный либо шнуровой материал подается в пламя ацетилен-кислородной либо пропан-кислородной горелки, расплавляется и переносится сжатым воздухом на поверхность изделия, где, остывая, формирует покрытие. Метод прост в освоении и применении, может применяться как в ручном, так и в автоматизированном режиме. Является самым распространенным методом газотермического напыления.

1.2.5 Метод наплавка

Лазерная наплавка позволяет нанести на поверхность обрабатываемого материала слой другого материала, улучшающий эксплуатационные характеристики основного: износостойкость, жаростойкость, жаропрочность, коррозионную стойкость и т. д. Наплавку производят при восстановлении изношенных и при изготовлении новых деталей машин и механизмов.

«Важнейшие требования, предъявляемые к наплавке, заключаются в следующем:

- минимальное проплавление основного металла;

- минимальное перемешивание наплавленного слоя с основным металлом;
- минимальное значение остаточных напряжений и деформаций металла в зоне наплавки;
- занижение до приемлемых значений припусков на последующую обработку деталей.

Способы наплавки:

- ручная дуговая наплавка покрытыми электродами;
- дуговая наплавка под флюсом проволоками и лентами;
- дуговая наплавка в защитных газах вольфрамовыми (неплавящимися) и проволочными металлическими (плавящимися) электродами;
- дуговая наплавка самозащитными порошковыми проволоками;
- электрошлаковая наплавка;
- плазменная наплавка;
- лазерная наплавка;
- электронно-лучевая наплавка;
- индукционная наплавка;
- газопламенная наплавка» [11].

1.3 Лазерная технология поверхностного упрочнения

Лазерная обработка основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Лазерное излучение фокусируется в определенный участок обрабатываемой детали.

Источником светового излучения является лазер – оптический квантовый генератор. Работа лазера основана на принципе стимулированного генерирования светового излучения. Атом вещества, имея определенный

запас энергии, находится в устойчивом энергетическом состоянии и располагается на определенном энергетическом уровне. Для того чтобы атом вывести из этого состояния его необходимо возбудить. Возбуждение (накачка) активного вещества (активной среды) осуществляется световой импульсной лампой. Длительность светового импульса (вспышки) около 0,01 с [13].

Использование лазерного излучения в качестве универсального инструмента для обработки материалов коренным образом меняет традиционные представления о техническом процессе изготовления деталей машин и приборов.

К наиболее общим преимуществам лазерной технологии можно отнести следующие:

- возможностью проведения обработки в местах, недоступных для другого обрабатывающего инструмента;
- отсутствие механического воздействия при обработке со стороны инструмента на обрабатываемую деталь. Это позволяет обрабатывать тонкие, легко деформируемые, миниатюрные изделия без опасности их повреждения;
- возможность лазерного излучения проходить через любую прозрачную оболочку, для данной длины волны, позволяет проводить обработку в замкнутых изолированных объёмах без нарушения целостности оболочки;
- возможностью управления температурой в зоне лазерного воздействия в широких пределах позволяет обрабатывать лазерным излучением любые материалы;
- применение лазерной технологии позволяет существенно повысить точность, качество, надежность, долговечность деталей, инструментов, изделий, дает возможность сообщить обработанным изделиям новые эксплуатационные свойства.

К недостаткам этой технологии можно отнести:

- возможность обработки материалов на ограниченной глубине, а также сравнительно низкий коэффициент полезного действия лазеров;
- высокая стоимость лазерных установок [13].

В настоящее время лазерную технологию применяют для различных операций микрообработки, раскроя и резки материалов, упрочняющей поверхностной обработки, лазерной сварки и наплавки и для других целей. В настоящее время лазерное излучение используется для направленного изменения свойств поверхности различных деталей машин. При этом на поверхности обрабатываемого материала можно сконцентрировать энергию достаточно большой плотности мощности (до 10^{17} Вт/см²). Причем эту энергию можно передавать материалу бесконтактно, быстро и строго дозировано. Локальность тепловых процессов, происходящих на поверхностном слое при таких условиях облучения, обеспечивает высокие (до $10^6 \dots 10^8$ м/с) скорости нагрева и охлаждения, недостижимые при использовании традиционных методов термической обработки [14].

Лазерное упрочнение вызывает улучшение многих эксплуатационных показателей облученных материалов. Среди них лазерная обработка оказывает в первую очередь влияние на износостойкость, теплостойкость, механические характеристики материалов, остаточные напряжения в поверхностном слое материалов, т.е. те параметры, которые определяют триботехнические свойства контактирующих поверхностей, надежность и долговечность изделий машиностроения [14].

Лазерное термоупрочнение применяется при локальном упрочнении лезвий режущего инструмента (резцов, фрез, сверл, протяжек, ножей, вырубных штампов и др.), многих деталей машин (коленчатых и распределительных валов, зубчатых колес, рабочих поверхностей клапанов двигателей внутреннего сгорания и др.) [13].

Для повышения твердости и износостойкости поверхности применяют

также лазерное легирование. Оно позволяет в широких пределах управлять триботехническими характеристиками поверхностей деталей. С этой целью легирующие присадки в виде порошка, например, из карбидов тугоплавких металлов предварительно наносят на обрабатываемую поверхность. При облучении лазером происходит плавление и взаимное перемешивание порошка и материала детали в пределах тонкого поверхностного слоя от 0,1 до 3 мм. Процессы лазерного локального легирования позволяют создать на рабочей поверхности детали, изготовленной из обычной конструкционной стали, слой сверхпрочного материала, который позволяет существенно улучшить эксплуатационные показатели отдельных деталей и механизма в целом [14].

Эти технологии особенно актуальны для тех областей техники, где необходимо сочетание легкости и компактности конструкции с ее высокой прочностью и износостойкостью при экстремальных условиях эксплуатации. Так, например, поверхностное легирование алюминиевых или титановых сплавов железом, кремнием, медью и другими металлами дает возможность значительно повысить термостойкость изделий, изготовленных из таких сплавов [13].

Одним из важнейших достоинств лазерного упрочнения является практическое отсутствие деформаций материала после обработки. Это позволяет коренным образом изменить упростить технологический процесс изготовления деталей, выполнять лазерное упрочнение после финишных операций, в отличие от традиционной термообработки, которая требует дополнительных операций для устранения возникающих температурных деформаций и поэтому предусматривается в середине технологического цикла изготовления детали [14].

2 Методика и материалы исследования

В работе использовалось покрытие из стали Р6М5, которое предварительно было нанесено методом плазменной порошковой наплавки на сталь 20 толщиной 10 мм.

Обработка импульсным лазерным излучением на поверхность стали Р6М5 осуществляли с помощью лазерной сварочной установки НТФ-50Т с использованием прямоугольных импульсов. Перед лазерной обработкой поверхность была зашлифована до шероховатости Ra 0,08 мкм. Для сравнительного анализа были выполнены семь единичных зон обработки. Режимы обработки поверхности отличались мощностью воздействия импульсов и длительностью импульса (таблица 1). Обработка лазерным излучением производилась на открытом воздухе, без защиты поверхности покрытия от окисления.

Энергетические параметры и характеристики лазерного излучения принимали в соответствии с ГОСТ 24453-80 и ГОСТ Р 50005-92.

Исследования обработанного металла производили в поперечном сечении по центральной оси точек, а также в продольном сечении в поверхностном слое.

Таблица 1 – Параметры режимов воздействия лазерным излучением на структуру и свойства наплавленного слоя из стали Р6М5

№ режима	1	2	3	4	5	6	7
Пиковая мощность, кВт	2,9	1,47	1,15	4,79	4,79	4,79	4,79
Средняя мощность, Вт	8,7	8,8	8,7	47,9	47,9	47,9	47,9
Длительность импульса, мс	1,0	2	2,5	4	4	4	4

Частота, Гц	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,5
Диаметр сфокусированного пучка, мм	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5

Оптическую металлографию осуществляли с помощью микроскопа OLYMPUS GX51. Электронную микроскопию – с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515, снабженного микроанализатором EDAX ECON IV.

Микротвердость измеряли на приборе HVS-1000 с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 5 Н.

Выявление структуры обработанного металла осуществляли методом окунания предварительно отполированной поверхности в реактивы, которые имеют следующие составы:

- HNO_3 (мл) : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (мл) = 4 : 100;
- HCl (мл) : $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (г) : H_2O (мл) : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (мл) = 20 : 1 : 15 : 65.

Время выдержки металла в растворах варьировалось от 20 до 60 секунд.

3 Результаты исследования

Вид поверхностей оплавленных точек представлен в таблице 2. В первом столбце таблицы представлены фотографии, полученные с помощью электронного микроскопа, во втором столбце – с помощью оптического микроскопа.

На снимках, полученных с использованием оптической микроскопии, видно, что поверхность облучённой зоны, покрыта оксидной плёнкой, имеющей разноцветные тёмные и светлые участки. По периметру точек облучения наблюдается тёмная полоса, которая на снимках, полученных с использованием электронной микроскопии, выглядит, как выплеск расплавленного металла. Снаружи окружности выплеска в оптическом микроскопе виднеется светлая полоса толщиной 20...40 мкм, которую можно представить, как зону термического влияния.

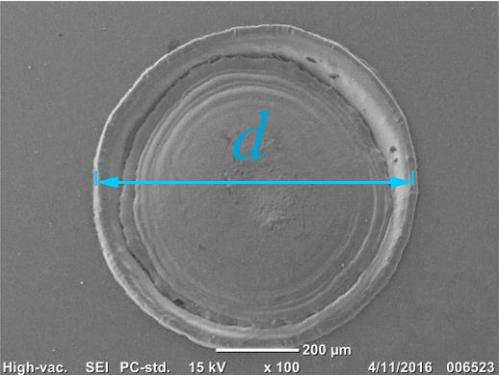
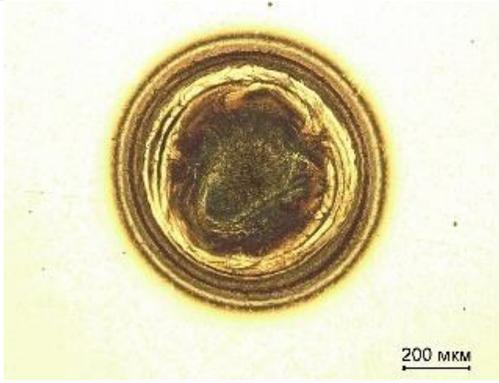
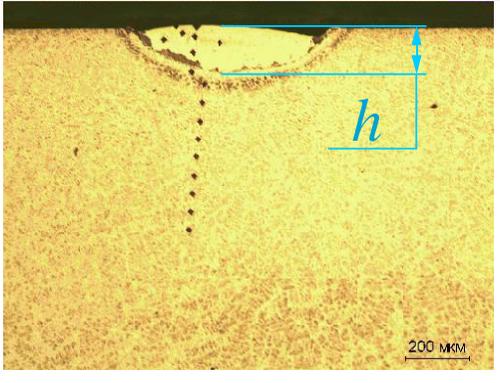
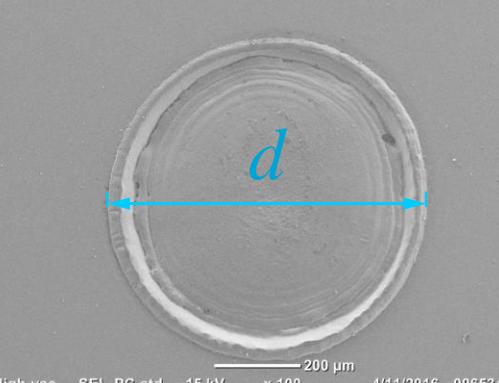
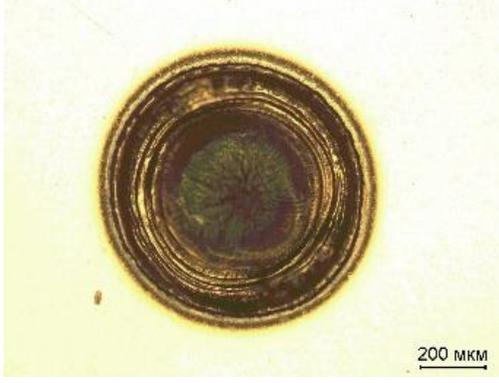
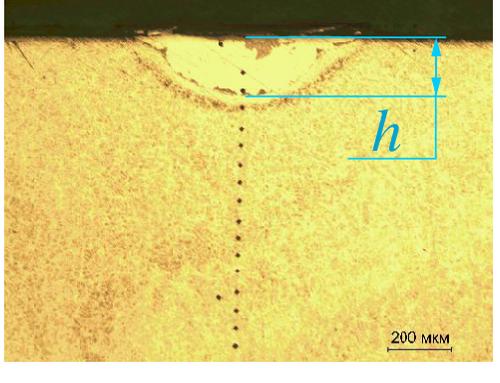
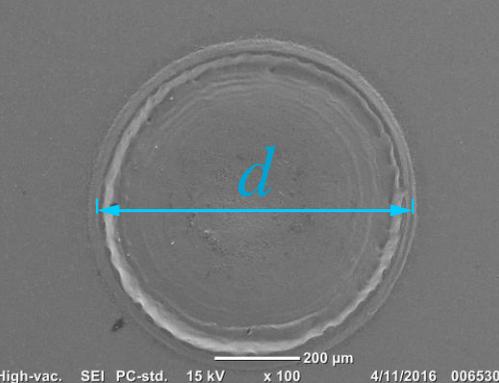
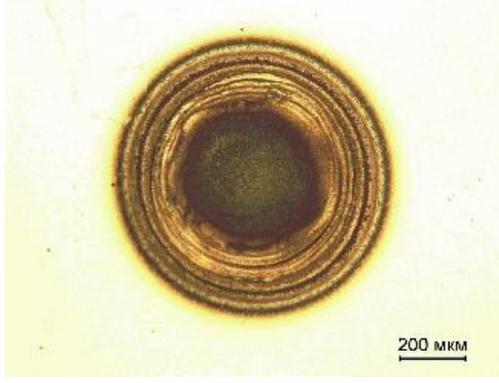
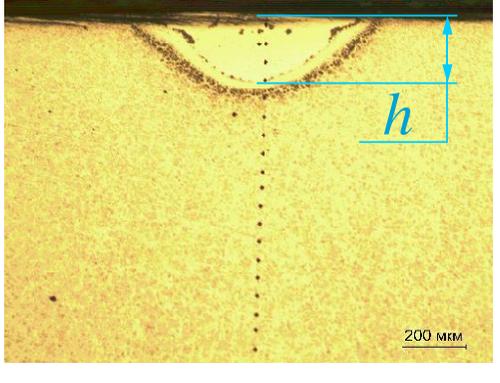
Характер распространения энергии лазера вызывает возбуждение капиллярных колебаний (волн) на неустойчивой поверхности расплава в канале лазерного проплавления, что способствует формированию волнистости внутри точек оплавления, что наиболее заметно на снимках точек, полученных при низких значениях мощности. Увеличение мощности лазера способствует большему оплавлению поверхности металла и росту сварочной ванны, что приводит к возникновению усадочной раковины.

Увеличение длительности импульса незначительно влияет на рост диаметра пятна облучения (рисунок 1, а), тогда как увеличение диаметра сфокусированного пучка лазера сказывается на уменьшении диаметра пятна обработки поверхности (рисунок 1, б). Необходимо отметить, что увеличение средней мощности лазерного излучения в пять раз приводит к увеличению диаметра точки оплавления поверхности в 1,5 раза.

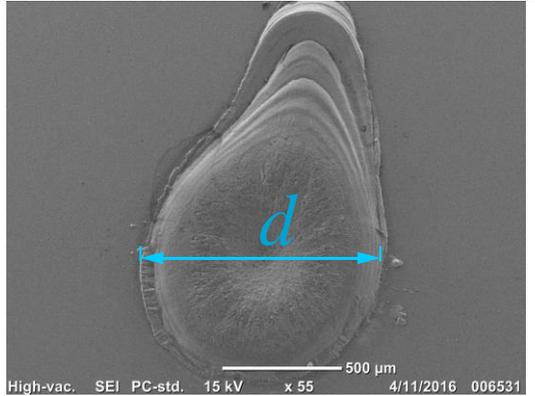
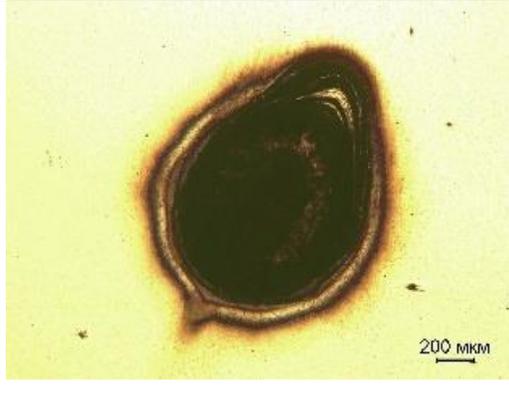
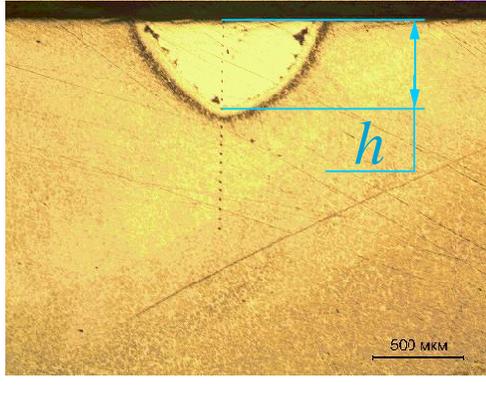
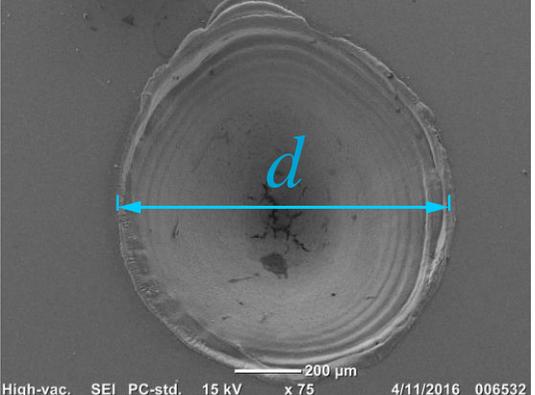
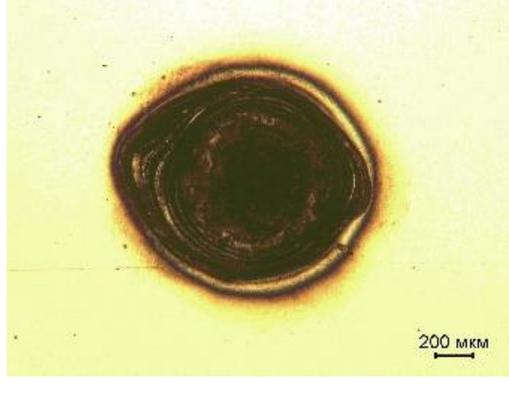
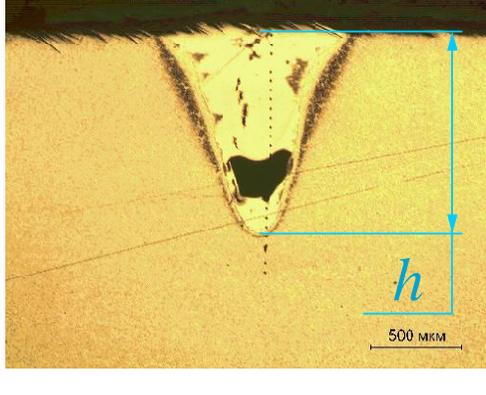
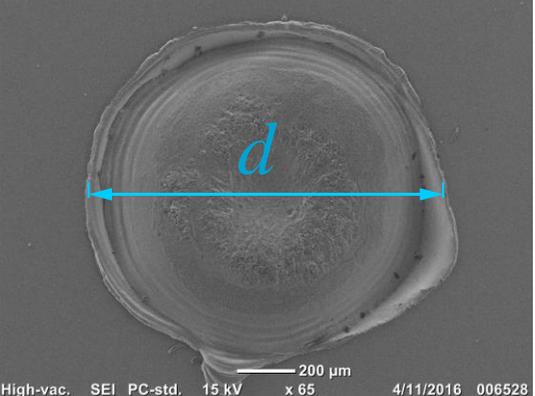
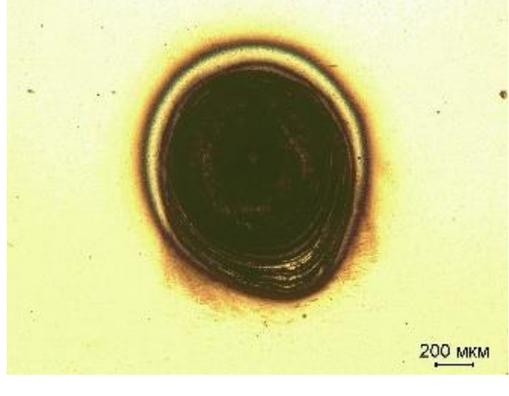
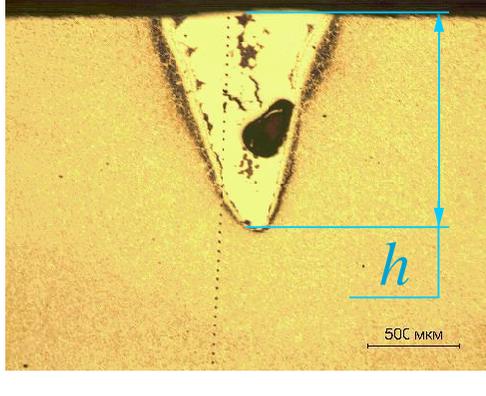
На рисунке 2 представлены графики изменения глубины проплавления при изменении энергетических параметров импульсного лазерного облучения.

Глубина проплавления увеличивается прямопропорционально увеличению мощности излучения лазера. При средней мощности лазера 8,75 Вт проплавление достигает в среднем ~251 мкм, при 48 Вт проплавление ~1376 мкм.

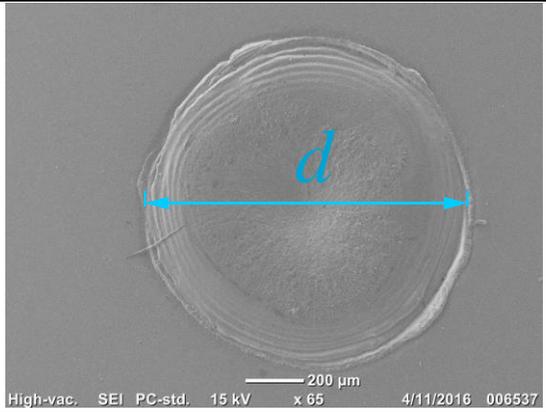
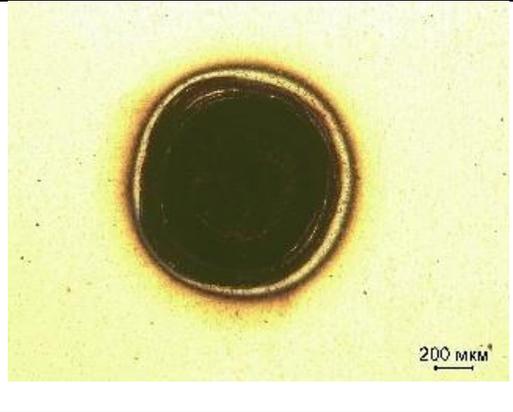
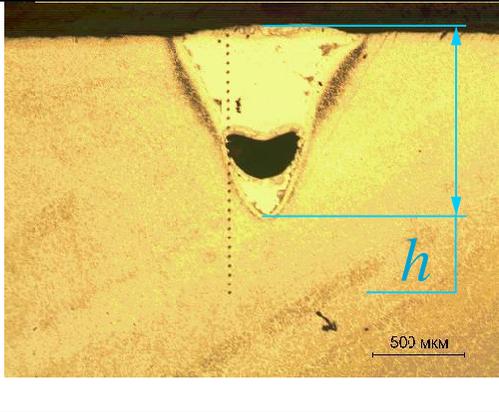
Таблица 2 – Вид поверхностей оплавленных точек

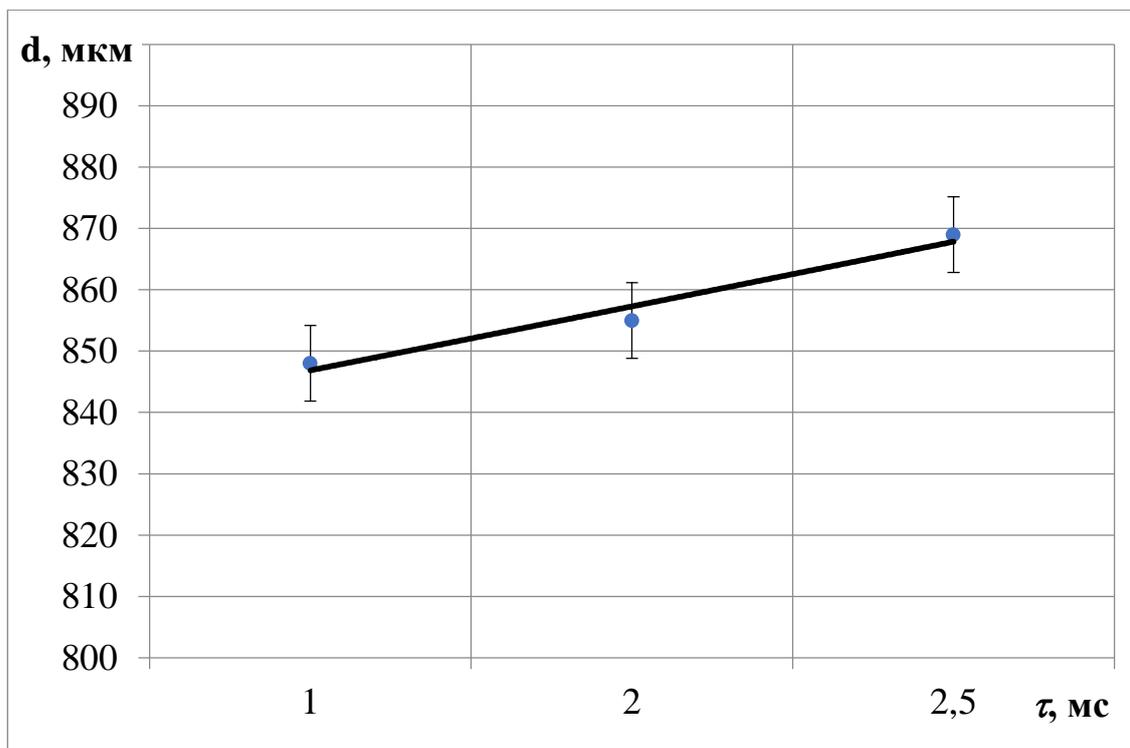
Номер строки	Поверхность точки		Поперечное сечение точек расплава	Номер режима
	Электронная микроскопия	Оптическая микроскопия		
1				<p>Режим №1 $d=848\pm 7$ мкм $h=206\pm 5$ мкм</p>
2				<p>Режим №2 $d=855\pm 7$ мкм $h=241\pm 5$ мкм</p>
3				<p>Режим №3 $d=869\pm 7$ мкм $h=306\pm 5$ мкм</p>

Продолжение таблицы 2

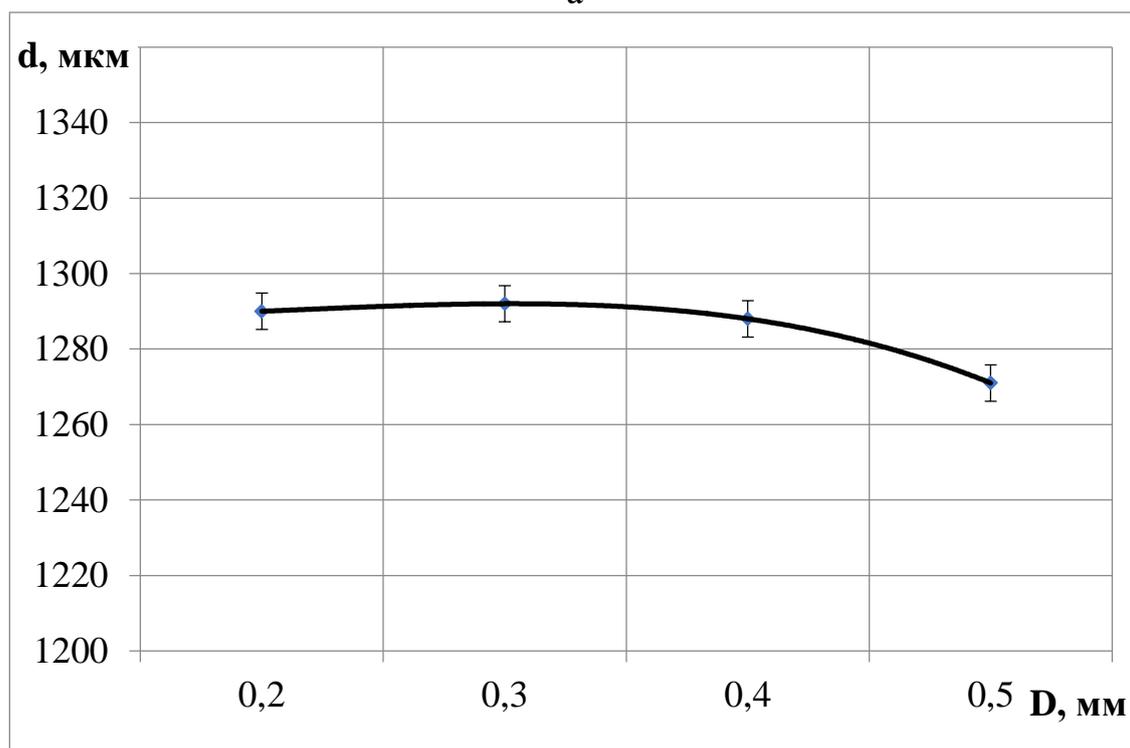
4	 <p>High-vac. SEI PC-std. 15 kV x 55 4/11/2016 006531</p>			<p>Режим №4 $d=1285\pm 7$ МКМ $h=688\pm 5$ МКМ</p>
5	 <p>High-vac. SEI PC-std. 15 kV x 75 4/11/2016 006532</p>			<p>Режим №5 $d=1292\pm 7$ МКМ $h=1909\pm 5$ МКМ</p>
6	 <p>High-vac. SEI PC-std. 15 kV x 65 4/11/2016 006528</p>			<p>Режим №6 $d=1288\pm 7$ МКМ $h=1772\pm 5$ МКМ</p>

Продолжение таблицы 2

7	 <p>High-vac. SEI PC-std. 15 kV x 65 4/11/2016 006537</p>			<p>Режим №7 $d=1271\pm 7$ МКМ $h=1137\pm 5$ МКМ</p>
---	--	--	---	---

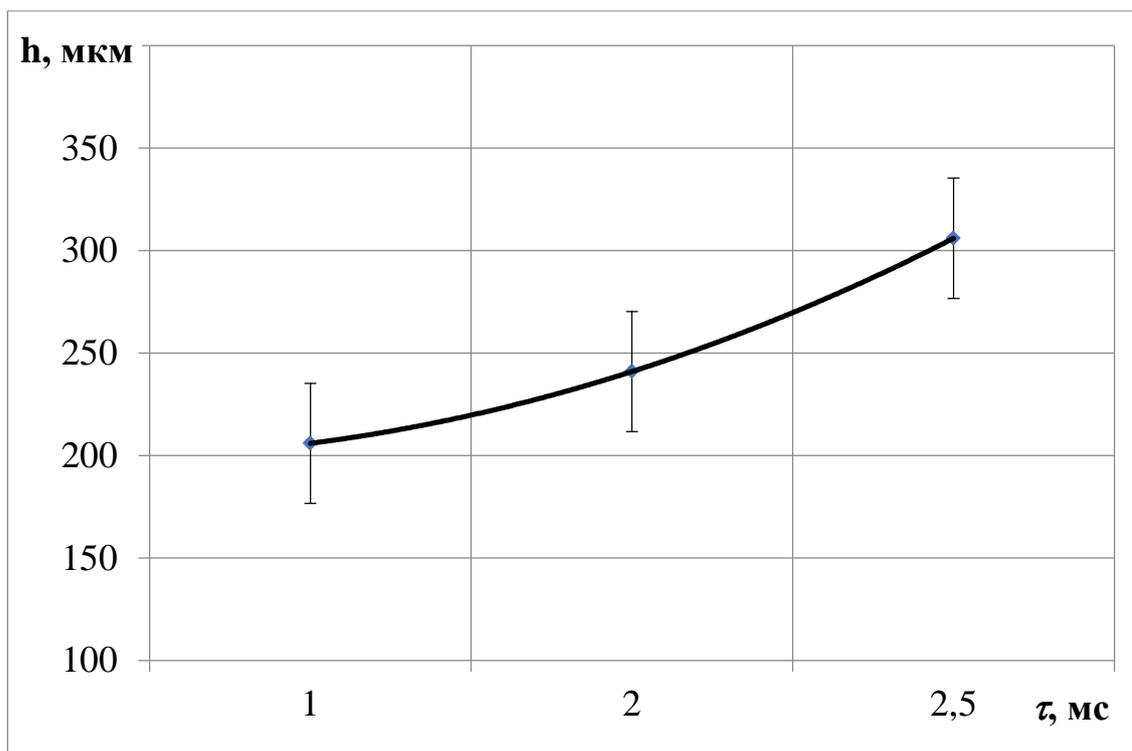


а

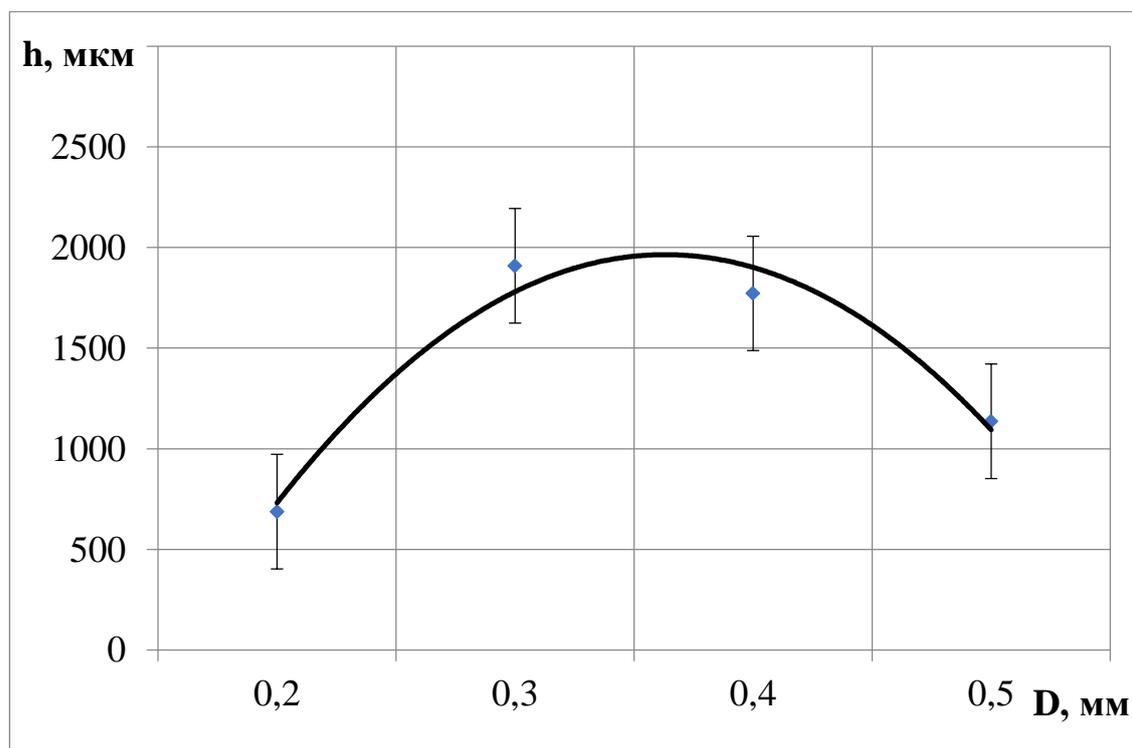


б

Рисунок 1 – Диаметр точек облучения в зависимости от увеличения длительности импульса (а) и диаметра фокусного пятна лазера (б)



а



б

Рисунок 2 – Изменение глубины проплавления при импульсном лазерном облучении поверхности стали Р6М5 с увеличением длительности импульса (а) и увеличением диаметра сфокусированного пучка (б)

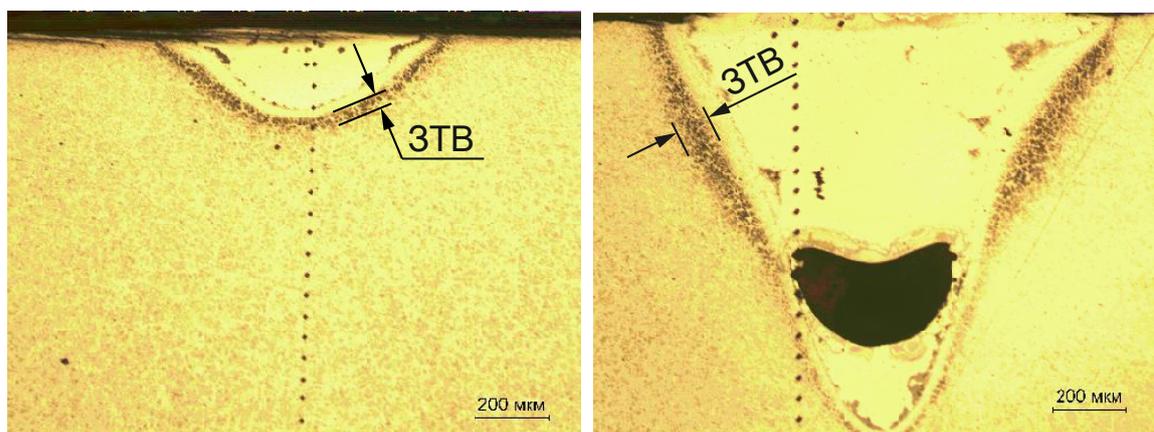
Увеличение длительности импульса при малой мощности лазера способствует росту глубины проплавления (рисунок 2, а). Форма проплавления в этом случае ближе к эллипсной, а внутри сварочной ванны отсутствуют дефекты виде пор (3 столбец таблицы 2).

Увеличение мощности лазерного излучения способствует росту объема сварочной ванны, сопровождается значительными выплесками жидкого металла и формированием кинжальной формы проплава.

С увеличением диаметра сфокусированного пучка лазера наблюдается формирование дефектов сварных швов, связанных с пористостью. Согласно данным [15], формирование таких дефектов внутри сварочной ванны характерно для глубоких швов, выполненных на режимах с прямоугольной формой импульса тока. Применение прямоугольной формы импульсов приводит к резкому нарастанию и спаду мощности лазерной энергии. Формирующиеся формы проплава, когда его длина равна или превышает ширину (диаметр точки облучения), способствуют нестабильности парогазового канала и приводят к его закрытию вдоль линии проплавления с образованием дефектов. Выплеск металла при импульсном воздействии по режиму с наименьшим диаметром сфокусированного пучка приводит к формированию эллипсной формы проплава с глубиной меньшей диаметра оплавления, что позволяет избежать появления поры внутри шва (табл. 2, строка 4).

Увеличение диаметра сфокусированного пучка лазера до 0,3...0,4 мкм способствует росту глубины проплавления (рисунок 2,б). Однако, дальнейший рост диаметра пучка приводит к снижению глубины проплавления.

Ширина зоны термического влияния для проплава эллипсной формы равномерна по всему периметру зоны оплавления (режимы 1-4) и варьируется в пределах 40 мкм (рисунок 3,а). Формирование кинжальной формы проплавления из-за увеличения объема ванны расплава в верхней части способствует увеличению ширины зоны термического влияния до 100 мкм.



а

б

Рисунок 3 – Микроструктура поперечного сечения точек импульсного облучения по третьему (а) и седьмому (б) режимам

В центральной зоне оплавления структура стали слабо протравливается и имеет мелкое дендритно-ячеистое строение (рисунок 4). Структура зоны термического влияния представлена аустенитно-мартенситной матрицей с эвтектикой по границам зерен. Иглы мартенсита в зоне термического влияния видны отчетливо и проходят через все аустенитное зерно.

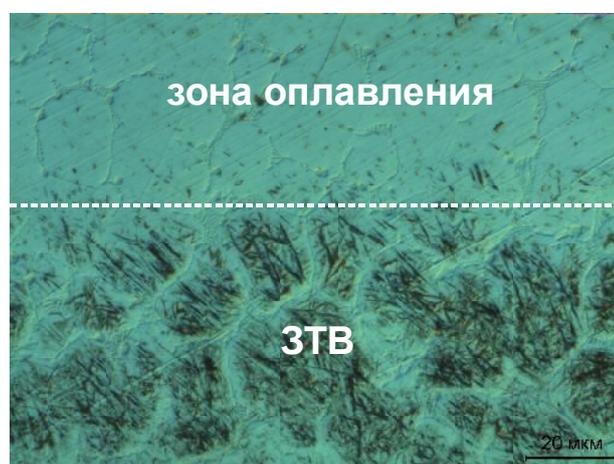


Рисунок 4 – Микроструктура зоны оплавления и зоны термического влияния точки облучения, полученной по режиму 3

Формирование закалочных структур в зоне термического влияния способствует повышению микротвердости в этой области (рисунок 5). При этом зона оплавления стали Р6М5 импульсами лазера обладает пониженной твердостью по сравнению с твердостью исходной стали Р6М5.

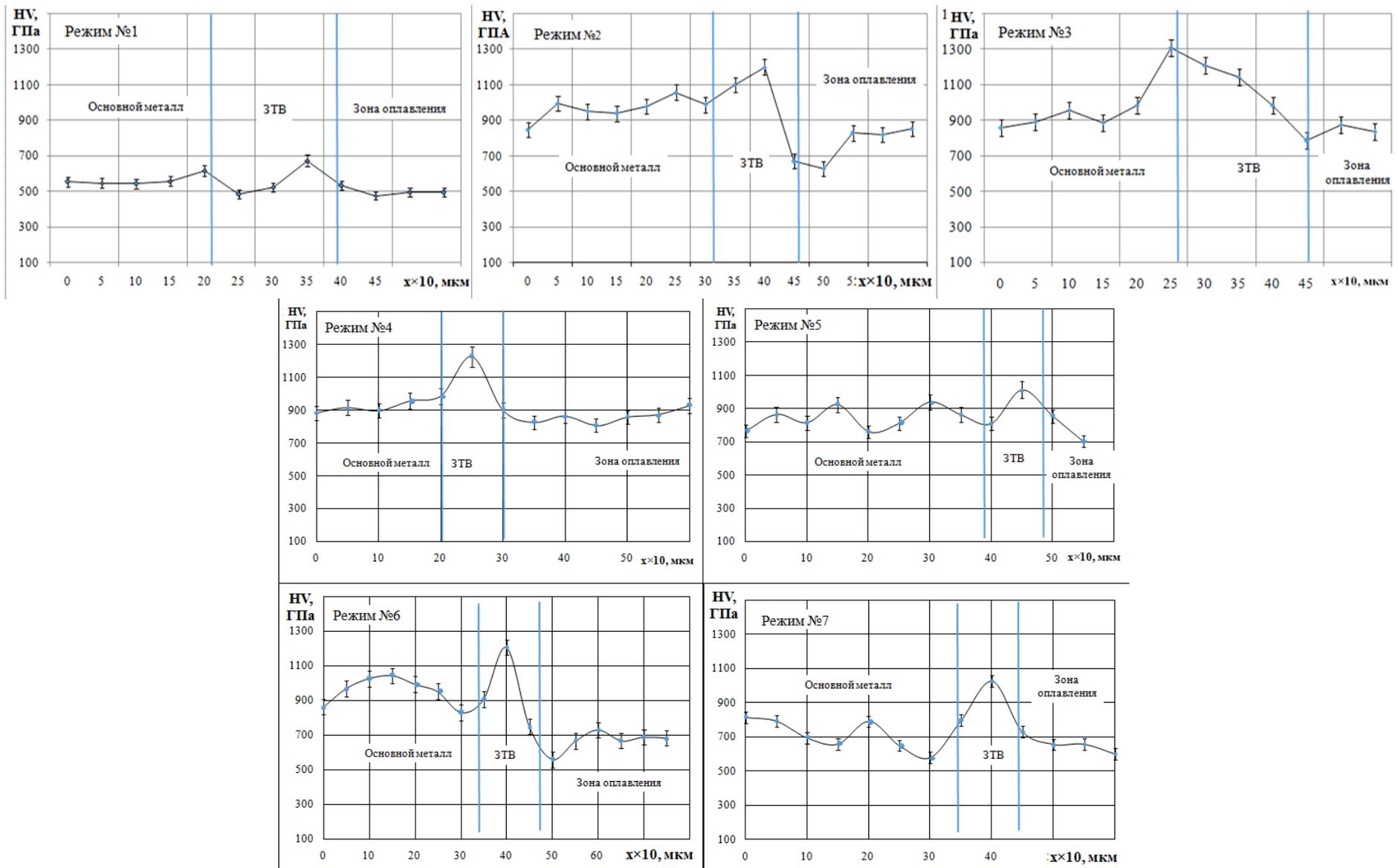


Рисунок 5 – Графики распределения микротвердости в поперечном сечении точек импульсного лазерного облучения

Снижение уровня твердости в зоне оплавления наряду с плохой травимостью литого ядра свидетельствует о сохранении большего количества аустенита в данной области за счет быстрой кристаллизации при охлаждении и снижении точки начала мартенситного превращения.

4 Предпроектный анализ

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Сталь Р6М5 широко применяют для изготовления рабочей части режущих инструментов (резцы, сверла, фрезы и т.п.). Данное исследование посвящено изучению влияния лазерного излучения на поверхность стали Р6М5. Сущность работы заключается в повышении износостойкости поверхностного слоя стали Р6М5 с помощью воздействия лазерного излучения. Следовательно, потенциальными потребителями результатов исследования будут заводы по производству режущих инструментов разного назначения, а также предприятия занимающиеся ремонтом и восстановлением изношенных деталей методом лазерной наплавки.

В таблице 3 приведено сегментирование целевого рынка по критериям: размер предприятия и оборудование для наплавки.

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка

		Оборудование для наплавки	
		Лазерное	Плазменная
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

 ТИЗ  ОАО "ТЭЗ"  "ТЭМЗ"

Как видно из таблицы 3, наиболее перспективным сегментом в оборудовании для наплавки является лазерная наплавка. Данный метод является наиболее распространенным. В Томске два завода занимающиеся

этим, это Томский инструментальный завод и ОАО «Томский электромеханический завод».

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время для повышения износостойкости и восстановления разных деталей широко применяют плазменное излучение. Однако у данной технологий существуют недостатки.

Как отмечалось выше данное исследование посвящено лазерному излучению, которое имеет следующие преимущества:

- отсутствие механического воздействия при обработке со стороны инструмента на обрабатываемую деталь;
- возможность лазерного излучения проходить через любую прозрачную оболочку;
- возможностью управления температурой в зоне лазерного воздействия;
- повышенная точность, качество, надежность, долговечность.

Таким образом, в настоящее время единственным конкурентом является технология плазменное излучение.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Надежность	0,3	5	3	1,5	0,9
2. Унифицированность	0,1	5	3	0,5	0,3
3. Уровень материалоемкости разработки	0,1	4	3	0,4	0,3

Продолжение таблицы 4

4.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	4	0,8	0,8
5.Ремонтопригодность	0,1	4	4	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность проекта	0,05	4	3	0,2	0,15
2. Цена	0,05	5	4	0,25	0,2
3. Финансирование научной разработки	0,05	3	5	0,15	0,25
4. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	0,2	0,25
Итого:	1			4,2	3,35

Примечание

1 Бф – технология, разрабатываемая в ходе исследовательской работы (влияние лазерного излучения на поверхность стали Р6М5);

2 Бк1 – влияние оборудования для плазменной наплавки на поверхность стали Р6М5.

4.3 SWOT-анализ

SWOT– представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Наличие опытного руководителя</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Наличие современного программного продукта</p> <p>С5. Актуальность проекта</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Высокая стоимость лазерного оборудования</p> <p>Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>

Продолжение таблицы 5

<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		
<p>У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства .</p>		

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 6 –9.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
	B4	0	-	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	+	-	+
	B3	+	0	-
	B4	+	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1Сл3, B3B4Сл1.

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С4С5, У4С3С4.

Таблица 9 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	-
	У3	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3.

Таким образом, по анализу интерактивных таблиц можно составить итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 1.7).

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Наличие опытного руководителя</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Наличие современного программного продукта</p> <p>С5. Актуальность проекта</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Высокая стоимость лазерного оборудования</p> <p>Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>-При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами.</p>	<p>-Снижение цен на лазерные технологии;</p> <p>- Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.</p>
<p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение н-учного исследования со стороны государства .</p>	<p>- Повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.</p>	<p>- Расширение области применения за счет развития новых технологий.</p>

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 План проекта

Таблица 11 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение темы проекта	15	11.02	13.02	Руководитель
2	Анализ актуальности темы	11	14.02	24.02	Дипломник
3	Поиск и изучение материала по теме	4	25.02	28.02	Руководитель
4	Выбор направления исследований	3	1.03	3.03	Руководитель
5	Календарное планирование работ	15	4.03	18.03	Дипломник
6	Изучение литературы по теме	3	19.03	21.03	Дипломник
7	Подбор нормативных документов	11	22.03	1.04	Руководитель, дипломник
8	Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали	24	2.04	25.04	Руководитель, дипломник
9	Лазерная обработка поверхности образца	15	26.04	10.05	Дипломник
10	Изучение результатов	15	11.05	25.05	Руководитель, дипломник
11	Анализ результатов	11	26.05	05.06	Руководитель, дипломник
12	Заключение	11	06.06	16.06	Руководитель, Дипломник
Итого:		126			

4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта– горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

После заполнения таблицы 2.1 строим календарный план-график (табл. 2.2). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и

декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3	///												
2	Анализ актуальности темы	Дипломник	11		■											
3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель	4		///											
4	Выбор направления исследований	Руководитель	3			///										
5	Календарное планирование работ	Дипломник	15			■	■	■								
6	Изучение литературы по теме	Дипломник	11				■	■	■							
7	Подбор нормативных документов	Руководитель Дипломник	3					///	■							
8	Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали	Руководитель дипломник	24						///	■	■					
9	Лазерная обработка поверхности образца	Дипломник	15								■	■	■			
10	Изучение результатов	Руководитель Дипломник	15									///	■	■		
11	Анализ результатов	Руководитель Дипломник	11											///	■	
12	Заключение	Руководитель Дипломник	11												///	■

/// – руководитель, ■ – дипломник.

4.4.3 Бюджет научно-технического исследования

Таблица 13 – Группировка затрат по статьям

№	Статьи					
	Сырье, материалы, покупные изделия и покупные полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы
1.	Прокат из стали Р6М5 с диаметром 20 мм	Лазерная установка НТФ-50Т	Руководитель	Руководитель	Руководитель	Печать и ксерокопирование материалов исследования
2.	Бумага	Твердомер ТБ 5004	Дипломник	Дипломник	Дипломник	Оплата услуг связи
3.	ПК	Микроскоп				Оплата электроэнергии
4.	Полировальные пасты					
Итого руб.:	53245	704 050	295244,72	34829,36	68501,18	97522,22
Плановая себестоимость	Σ496854,775					

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

4.4.4 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (1)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 14 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Прокат из стали Р6М5 с диаметром 20 мм	кг	1	215	215
Полировальные пасты	шт	3	250	750
Бумага	пачка	1	280	280
ПК	шт	1	52000	52000
Итого по статье				53245

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Лазер НТФ-50Т	1	235	270,3
2.	Твердомер ТБ 5004 (351600)	1	352	405
3.	Микроскоп	1	25	28,75
Итого по статье				704,05

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Основная заработная плата

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Руководитель	74	3486,04	257966,96
2.	Дипломник	116	321,36	32277,76
Итого по статье $S_{осн}$				295244,72

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	126	126
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	24	42

Продолжение таблицы 17

Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный фонд рабочего времени	102	84

Для руководителя:

$$Z_m = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = 34190 \cdot 10,4 / 102 = 3486,04 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 3486,04 \cdot 74 = 257966,96 \text{ руб.}$$

Для дипломника:

$$Z_m = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = 2410,2 \cdot 11,2 / 84 = 321,36 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 321,36 \cdot 116 = 32277,76 \text{ руб.}$$

Таблица 18 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	K_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	3486,04	74	257966,96
Дипломник	1854	1,3	2410,2	321,36	116	32277,76

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

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

Таблица 19 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления, руб.
-------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------

Продолжение таблицы 19

Руководитель	257966,96	30956,03	78298,13
Дипломник	32277,76	3873,33	9796,94
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%		
Итого по статье $C_{внеб}$			68501,18

Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 70%.

Таблица 20 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	257966,96	30956,03	86676,89
Дипломник	35992,32	3873,33	10845,32
Коэффициент накладных расходов	70 %		
Итого по статье $C_{накл}$			97522,22

5 Социальная ответственность

Введение

При выполнении магистерской работы не большая часть времени проводилась в научно-исследовательской лаборатории 18-го корпуса. Для изучения глубины проплавления и изменения структуры стали Р6М5 использовалась лазерная поверхностная обработка с помощью специальной установки НТФ-50Т с использованием прямоугольных импульсов.

В этом разделе будут рассматриваться вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. А также будет проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволит определить средства индивидуальной и коллективной защиты, и решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации в целом.

Рабочим местом является отдельное помещение (научно-техническая лаборатория). По степени воздействия на организм человека отрицательные внешние факторы можно разделить на опасные и вредные.

При работе в помещениях, в которых находится лазерное оборудование могут встречаться опасные факторы: поражение лазерным излучением, поражение электрическим током и возникновение пожара. Вредные факторы, окружающие человека в данной лаборатории, будут: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровней шума.

Основные причины электро-травматизма могут быть:

1. Случайное прикосновение к не заизолированным токопроводящим частям, находящимся под напряжением;

2. Появление напряжения на конструктивных металлических частях электрооборудования в результате пробоя электро-изоляции на корпусе;
3. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, и др.

5.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

5.1.1 Анализ превышения уровня шума

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов - электродвигатели в системе охлаждения и вентиляции лазерного оборудования. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБ, ГОСТ 12. 1. 003-83 ССБТ.

Высокий уровень шума проявляется из-за большого количества производственного оборудования и рабочего персонала, возможны появления головных болей, утомленности, чувств усталости. В худшем случае длительное воздействие шума может привести к уменьшению степени слухового восприятия.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- изоляции источников шумов;
- проведения акустической обработки помещения;
- создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

5.1.2 Анализ монотонного режима работы

При проведении лазерной поверхностной обработки с помощью лазерной сварочной установки НТФ-50Т, оператор установки стоит и наблюдает за процессом обработки. При этом лазерное излучение может отрицательно влиять на здоровье оператора, в частности на его зрение. Такой монотонный вид деятельности может привести быстрому утомлению, головной боли, усталости глаз.

В соответствии с этим используются такие меры организационного характера:

- Увеличения времени на отдых в один час работы.

5.1.3 Анализ недостаточной освещенности

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормированное значение освещенности рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк (СНиП 23-05-2010).

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной нагрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, также может вызвать пульсирующие головные боли.

В соответствии задачам зрительной работы помещение относится к 1 группе, т. е. помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий, коэффициент естественного освещения (КЕО) не должен превышать 2,1 %, а

коэффициент пульсации освещенности ($K_{п}$) не должен быть больше 10 % (СНиП 23-05-95*).

В целях уменьшения пульсации ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

5.1.4 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. Нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Ia согласно СНиП 2.2.4. 548-96 см. в таблице 7.1.

Таблица 21- Нормы метеорологических условий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °C						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °C					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °C	Относительная влажность, , %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, , %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, , %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, , %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	Не более 0,1	20-25	15-75	Не более 0,1	23-25	40-60	Не более 0,1	21-28	15-75	0,1- 0,2

Не нормированная температура или концентрация влажности воздуха в помещении может быть вызвана не правильной эксплуатацией отопительных приборов, не правильно подготовленной внутренней

обстановки помещения в различные времена года. Все данные пункты приводят к отклонению показателей микроклимата внутри производства. Такие факторы могут привести к различным простудным заболеваниям и снижениям работоспособности персонала и оператора, в частности.

Нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения. Вентиляция предназначена для создания на рабочем месте нормальных метеорологических и гигиенических условий за счёт организации правильного воздухообмена.

Проанализировав имеющуюся в помещении вентиляцию можно сказать:

- По способу перемещения воздуха она является естественной и неорганизованной.
- По назначению она осуществляет удаление (вытяжку) воздуха из помещения.
- По месту действия она является обще объёмной.

Методом борьбы с отклонениями показателей микроклимата является сравнение норм данных показателей с СанПиН 2.2.4.548 – 96, и доведения определенных параметров до нормированных условий. Это достигается при помощи установки терморегуляционных приборов, поддерживающих определенную температуру и влажность воздуха в каждом производственном помещении, а также утепления помещения искусственными наполнителями, для зимнего периода работы.

5.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

5.2.1 Анализ поражение электрическим током

При работе с лазерным оборудованием, которое соединено с сетью напряжения, возможны электрические замыкания (удары) для персонала, лазерное излучение персонала, а также пожары.

Через данное помещение проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещении имеются рубильники для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение спец. защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели).

Основные меры защиты человека от поражения электрическим током:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- контроль над состоянием изоляции электроустановок;
- защитное состояние сети;
- устранение причин появления напряжения на корпусе с помощью защитного заземления, защитного отключения;
- применение специальных защитных устройств (автоматические выключатели, сетевые фильтры);
- организация безопасной эксплуатации электроустановок.

5.2.2 Анализ поражения лазерным излучением

При работе на лазерной установке персонал подвергается лазерному излучению

Основные меры защиты человека от поражения лазерным излучением:

- использование предохранительных устройств, приборов, различных ограждений лазерно – опасной зоны;
- применение средств индивидуальной защиты от воздействия лазерного излучения, защитные очки и маски со светофильтрами;
- применение заземления, зануления, блокировки и т.д

5.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. При написании дипломного проекта в научно-технической лаборатории вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, вредных воздействий на окружающую среду не оказывалось. Все отходы (бумага с шлифовальными пастами) выбрасываются в мусорные ящики, в дальнейшем они утилизируются. Утилизацию люминесцентных ламп в лаборатории осуществляет специализированный персонал ТПУ.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации являются: пожары, ситуации природного характера.

К мерам по предупреждению будут относиться:

1. Планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне предприятия (организации).

2. Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности.

3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала.

4. Подготовка работающих к действиям в условиях ЧС.

5. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

Обращение с открытым огнем, где причинами являются: курение в неположенных местах, оставленные без присмотра электронагревательные приборы и устройства и нарушение правил эксплуатации электрического оборудования, эксплуатация его в неисправном состоянии. Работа в аудитории допускается только на исправных устройствах и пользоваться исправной проводкой. Лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, могут быть допущены к работе.

Для незамедлительной ликвидации пожара на складе установлены различные виды средств пожаротушения: пожарные краны, огнетушители. Согласно нормам первичных средств пожаротушения, при наличии энергоустановок напряжением до 1000 В, где на 100 м² имеется один огнетушитель.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.

2. Курить только в отведённых для курения местах.

3. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону "01" пожарную службу.

4. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению лазерных изделий, организации рабочих мест и помещениям - в соответствии с настоящим стандартом и ГОСТ Р 50723-94.

- Расстояния между лазерными изделиями должны обеспечивать безопасные условия труда и удобства при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте.
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории 2,2 м.
- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.
- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранения заготовок, готовых изделий и др.

- Лазерные изделия должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.
- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.
- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих лазерное излучение материалов (коэффициент отражения рекомендуется не более 0,4).
- Двери помещений должны иметь знак лазерной опасности.
- Высота помещений должна быть не менее 4,2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, вакуумсистемы, инертные газы и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2,2 м от пола.
- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемыми материалами.

Лазерные изделия, при работе которых возможно возникновение ионизирующего излучения, должны иметь конструкцию с учетом требований по безопасности в соответствии с ГОСТ Р 50723-94 и ОСПОРБ-99.

- Поверхности лазерного изделия при изготовлении рекомендуется выполнять матовыми, а цвета окраски выбираются из числа максимально поглощающих лазерное излучение.

- Рекомендуемое число цветов в оформлении изделия не более трех, кроме сигнальных и отличительных.
- Особые требования предъявляются к зоне обработки (или контакта лазерного пучка с мишенью). Цвет внутренних поверхностей защитных элементов лазерных изделий (кожуха, экрана и т.п.) должен быть темный, матовый, с максимальным поглощением лазерного излучения и отсутствием блестящих и отражающих элементов.
- Температура поверхностных частей лазерного изделия, с которыми может соприкасаться обслуживающий персонал, и органов управления не должна превышать 40 °
- Лазерное изделие должно иметь защитные устройства, предотвращающие несанкционированное воздействие на персонал лазерного излучения, а также защитные блокировки с целью обеспечения безопасности при техническом обслуживании и работе.
- Защитные блокировки должны предусматривать отключение подачи опасного электрического напряжения к лазерному изделию или его составным частям. Возможность генерирования лазерного излучения при случайном отключении блокировок должна быть исключена.
- Любая часть защитного устройства, при снятии или смещении которой возможен доступ персонала к лазерному излучению должна иметь табличку с надписью: "Внимание! При открывании - лазерное излучение".
- Визуальное устройство предупреждения лазерной опасности следует располагать отдельно от средств передачи других световых сигналов. Визуальный предупредительный сигнал должен отличаться интенсивностью и (или) прерывистостью свечения

(частота мигания 3-5 Гц и длительность сигнала не менее 0,2 с) и быть хорошо виден через защитные очки.

- Звуковое устройство должно привлекать внимание персонала путем подачи прерывистых хорошо распознаваемых сигналов, ассоциирующихся только с лазерным излучением. Длительность звукового импульса - не менее 0,2 с.
- Органы управления должны быть размещены и сгруппированы с учетом последовательности операций таким образом, чтобы при регулировке и работе не происходило облучение персонала лазерным излучением с уровнем, превышающим ДПИ для класса 1. Формы органов управления должны легко идентифицироваться.
- Для предотвращения потери информации вследствие влияния внешнего освещения индикаторы и указатели должны быть снабжены специальными защитными экранами или колпаками.

В целях общего поддержания безопасности создаются следующие мероприятия:

- Планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне организации.
- Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности.
- Выявление угроз пожара и оповещение персонала.
- Подготовка работающих к действиям в условиях ЧС.
- Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

Предприятие эксплуатируется и оборудуется согласно основными правовыми нормами:

- ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;

- ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- ГОСТ 12.4.125-83. ССБТ. Средства коллективной защиты работающих. Классификация.
- ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий.
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

Заключение

В выпускной квалификационной работе провели исследования влияния параметров режима импульсного лазерного излучения на глубину проплавления и изменения структуры стали Р6М5.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение импульсов лазерного облучения малой мощности (8,8 Вт) способствует формированию точек оплавления глубиной до 350 мкм, в которых отсутствуют дефекты в виде пор. Увеличение длительности импульса в этом случае способствует незначительному росту геометрических параметров точек: диаметра и глубины проплавления.

2. С ростом мощности импульсного лазерного облучения в пять раз наблюдается увеличение диаметра точек в 1,5 раза и глубины проплавления в 5 раз. Проплав приобретает кинжальную форму с формированием дефектов в виде пор.

3. Оплавление стали Р6М5 импульсами лазера способствует формированию дендритно-ячеистой структуры в центре литого ядра с сохранением большого количества аустенита, что оказывает влияние на уменьшение твердости в данной области. В зоне термического влияния происходит формирование закалочных структур с большим количеством мартенсита, способствующих повышению твердости.

4. Наилучшее формирование зоны оплавления наблюдается при использовании четвертого режима: средняя мощность импульса 47,9 Вт, длительность импульса 4 мс, диаметр сфокусированного пучка 0,2 мм. Данный режим позволяет получить точку с равномерным проплавом без дефектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Akhtar S.S., Yilbas B.S. Laser Treatment of Steel Surfaces: Numerical and Experimental Investigations of Temperature and Stress Fields // *Comprehensive Materials Processing*. – 2014. - №9. – P. 25-46
2. Ki M.L., Andreas A.P. Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels // *Wear*. – 2005. - № 259. – P. 391–399.
3. Hernandez F.C.R., Demas N.G., Davis D.D. Mechanical properties and wear performance of premium rail steels // *Wear*. – 2007. - №263. – P. 766–772.
4. Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов □ Москва: Металлургия, 1978. – 312 с.
5. Лисовский А.Л., Плетенов И.В. Лазерное упрочнение штампового инструмента // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2008. - №3. – С. 90-100.
6. Katayama S. (2012), Laser welding, *Ferrum* (Bulletin of the Iron and Steel Institute of Japan), 17(1) 18–29 (in Japanese).
7. Katayama S. (2012), Laser welding of aluminum alloys, *Keikinzoku* (Journal of Japan Institute of Light Metals), 62(2) 75–83 (in Japanese).
8. Katayama S. (2005), New development in laser welding, in *New Developments in Advanced Welding*, ed. by N. Ahmed. Cambridge: Woodhead Publishing pp. 158–197.
9. Katayama S. (2010), Understanding and improving process control in pulsed and continuous wave laser welding, in *Advances in laser materials processing – Technology, research and applications*, eds. by J. Lawrence, J. Pou, D. K. Y. Low. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 181–210.

10. Смирнов М. А., Счастливец В. М., Журавлев Л. Г. Основы термической обработки стали /: Учебное пособие. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 494 с.
11. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для вузов. 3-е изд. М. «Металлургия», 1983. 360с.
12. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение–М.: Машиностроение, 2008. – 406с.
13. Акулич Н.В. Процессы производства черных и цветных металлов и их сплавов, Гомель 2008. – 270 с.
14. Коваленко, В. С. Лазерная технология: учебник для вузов по специальности "Машины и технология высокоэффективных процессов обработки"-: Выща шк. Головное изд-во, 1989 . – 280 с.
15. Справочник по лазерной сварке / Катаяма С. – Москва: Техносфера. – 2015. – 704 .
16. V. Oliveira, N.I.Polushkin, O.Conde, R.Vilar. Laser surface patterning using a Michelson inter ferrometer and femtosecond laser radiation, Opt. Laser Technol. 44(2012)2072–2075.
17. M. Tang, V.Shim, Z.Y.Pan, Y.S.Choo, M.H.Hong.Laser ablation of metal substrates for super-hydrophobic effect. Laser Micro/Nanoeng 6 (2011) 6–9.
18. Abdellah L., Bruno C., Frederic J., Henry A. Applied multi-pulsed laser in surface treatment and numerical-experimental analysis.Optics & Laser Technology. – 2011. - №43. – P. 1257-1263
19. Ho Jun Shin, Young Tae Yoo. Microstructural and hardness investigation of hot-work tool steels by laser surface treatment. Journal of materials processing technology 201(2008) 342–347.
20. Zhihui Zhang, Luquan Ren, Ti Zhou, Zhiwu Han, Hong Zhou, Li Chen, Yu Zhao. Optimization of Laser Processing Parameters and Their Effect on Penetration Depth and Surface Roughness of Biomimetic Units on the Surface of 3Cr2W8V Steel. Journal of Bionic Engineering 7 Suppl. (2010) S67–S76

21. LinjianChaia, Baofeng Chena, Shuyan Wang, Ning Guo, Can Huang, Zhimin Zhou, Weijiu Huang. Microstructural changes of Zr702 induced by pulsed laser surface treatment *Applied Surface Science* 364 (2016) 61–68
22. AbdellahLaazizi, Bruno Courant, Fre'de' ricJacquemin, Henri Andrzejewski. Applied multi-pulsed laser in surface treatment and numerical–experimental analysis. *Optics & Laser Technology* 43 (2011) 1257–1263
23. EuricoAssuncao, Stewart Williams. Comparison of continuous wave and pulsed wave laser welding effects. *Optics and Lasers in Engineering* 51 (2013) 674–680
24. S.F. Gnyusov, A.A. Ignatov, V.G. Durakov, S.Yu. Tarasov. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel. *Applied Surface Science*. 263 (2012) 215–222.
25. S.F. Gnyusov, S.Yu. Tarasov. Structural phase states and heat aging of composite electron-beam clad coatings. *Surface & Coatings Technology*. 232 (2013) 775-783
26. A. Dunn, K.L. Wlodarczyk, J.V. Carstensen, E.B. Hansen, J. Gabzdyl, P.M. Harrison, J.D. Shephard, D.P. Hand. Laser surface texturing for high friction contacts. *Applied Surface Science* 357 (2015) 2313–2319
27. S.Razi, Kh.Madanipour, M. Mollabashi. Laser surface texturing of 316L stainless steel in air and water: A method for increasing hydrophilicity via direct creation of microstructures. *Optics&LaserTechnology*80(2016)237–246.
28. Zhou Bin, Shen Yu, Chen Lun , Cui Zhen-shan. Breakdown Behavior of Eutectic Carbide in High Speed Steel During Hot Compression // *Journal of iron and steel research, International*, 2011, no. 18, P. 41-48.
29. Е. И. Тескер, А. В. Пермякова, В. Ю. Тараненко Лазерные методы упрочнения деталей, работающих в условиях многофакторного воздействия // *Волгоградский государственный технический университет*. – 4с.

30. D.H. Kam, S.Bhattacharya, J.Mazumder, Control of the wetting properties of an AISI316L stainless steel surface by femtosecond laser-induced surface modification, *J.Micromech.Microeng.*22(2012)105019–105025.

31. S. Hammouti, A. Pascale-Hamri, N. Faure, B. Beaugiraud, M. Guibert, C. Mauclair, S. Benayoun, S. Valette. Wear rate control of peek surfaces modified by femtosecond laser. *Applied Surface Science* 357 (2015) 1541–1551

32. Bizi-Bandoki P., Benayoun S., Valette S., Beaugiraud B., Audouard E. Modifications of roughness and wettability properties of metals induced by femtosecond laser treatment // *Applied Surface Science*. – 2011. - №257. – P. 5213–5218.

33. Иванов Ю.Ф., Колубаева Ю.А., Коновалов С.В. и др. Модификация поверхностного слоя стали при электронно-лучевой обработке // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2008. - №12. – С. 10-16.

34. Дьяченко В.С., Дощечкина И.В. Оптимальные параметры лазерной обработки режущего инструмента из быстрорежущей стали // *Вестник ХНАДУ*. – 2006. - №33. – С. 51-53

35. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.

36. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

37. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

38. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

Приложение А

Раздел (1,2)

Литературный обзор, Методика и материалы исследования

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Матрунчик Мария Сергеевна		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Слободян М. С.	К. Т. Н.		

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Игна О. Н.	К. П. Н.		

1 Literature review

Welding is the most universal and effective way of joining elements in industrial engineering in a wide variety of industrial areas. A laser is a heat source with a high density of energy. Therefore, welding is recognized by all as an advanced technology of joining materials with a laser beam of high power and high energy density. Among all the welding processes laser welding implements a wide variety of metal or plastic compounds with thickness from very thin sheets, about 0.01mm to thick plates, about 50mm, in the protective gas environment (helium (He), argon (Ar) or sometimes nitrogen (N₂) in air. This method has become very popular as a promising high-quality join technology, providing high accuracy, high performance, high speed, flexibility and low distortion [6-9].

Bell Laboratories staff member, C. Kumar N. Patel, invented CO₂ –laser in 1964. He achieved excellent results by creating a CO₂-laser design up to 1 MWt. Later with the efforts of many other developers and designers, the power and efficiency of this laser were significantly increased by adding nitrogen and helium to the active laser medium. In 1966, Coherent, Inc. had brought on the market the first commercial CO₂ laser with a power of 100 watts.

Since the late 1970s and 1980s, the use of CO₂ laser welding has begun in the automotive industry. Various parts of the power units, including the gearbox elements, hubs and shafts, were welded by a CO₂ laser (Petring, 2004).

High performance, low heat input and low distortion have become the main advantages of laser welding compared to with other processes. And until now, CO₂ lasers are used for these tasks. Laser welding is widely introduced in the manufacture of parts of the car body, such as doors, front and side panels, side beams and wheel arches.

In Europe, in the mid-1990s, a number of national projects were developed using the basic principles of laser welding in a CO₂ environment.

Nevertheless, in the late 1990s, the use of CO₂ lasers decreased. This was due to the installation of industrial robots with Nd: YAG lasers on conveyor lines,

which were adapted for carrying out three-dimensional laser welding. The use of remote laser welding began in the 2000s to manufacture components of the car body. The laser module, equipped with high-speed scanning mirrors, forms a laser spot that quickly moves over the surface to be treated, covering the required wide area, and quickly welds individual sections. In such modules, lasers with high beam quality and a large focal length are installed, usually larger than one meter. Slab (SLAB) CO₂ lasers were first used to produce laser beams of high quality. Their main advantages - reduction in clock time and high performance [7].

Thanks to the progress in the development and creation of powerful disk and fiber lasers with high beam quality, a new remote welding system has emerged as part of robotic welding. The use of fiber and disk lasers makes remote welding more flexible and faster, thereby increasing its use [7].

In the aircraft industry, Airbus began using CO₂ lasers to weld the stringer and fuselage skin on aircraft panels in the early 2000s (Schumacher et al., 2002; Vollertsenetal., 2004). This was achieved through the development of laser welding modules, as well as the creation of an Al-Mg-Si-Cu alloy. Instead of the usual riveting, stringers are connected to the skin by simultaneous laser welding from both sides. To avoid the formation of hot cracks, the welding wire Al-12% Si is used. Weight reduction, high productivity, improved corrosion resistance and good economic characteristics are the main advantages of replacing the traditional riveting process with laser welding.

The first application of laser welding in shipbuilding was the production of three-layer panels at the Meyer shipyard Werft in the mid-1990s. Then, flat panels were welded up to 10 mm thick to the beams with a 12 kW CO₂ laser. With the use of new technology, high performance has been achieved: weight loss at high strength, hardness increase and reduction of distortion level. In Europe, in the mid-1990s, a number of national projects were developed using the basic principles of laser welding in a CO₂ environment. This forced the use of laser welding in the field of shipbuilding. Welding of long straight butt welds and angular welding of thick steel plates were introduced at Odense companies Steel Shipyard (Sellerup,

1999), Fincantiaeri (Manzon, 1998) and Blohm & Boss (Kahl, 1998) in the late 1990s. The line they use consists of a platform equipped with powerful CO₂ lasers from 12 to 18 kW. The line includes monitoring and control systems with feedback, preparation of edges and a processing system, as well as a wire feed system. The most attractive advantage of installing a high-power laser is to reduce distortion, which significantly reduces the total labor for additional editing operations [8].

Improved mechanical accuracy allowed to automate the production line and achieve a high level of productivity. At Meyer Werft were installed four laser / GMA hybrid welding plants from the late 1990s to the early 2000s. And now the share of hybrid welds on a large cruise ship is close to 50% of the total length of all seams. Due to the flexibility of the fiber feeding systems, fiber and disk lasers were installed in some shipbuilding enterprises. Nevertheless, CO₂ lasers are preferred not to be discarded, since they ensure the stability of the welding process. These lasers are also installed on new lines [8].

Since the early 1980s, metallurgy has been using 5-10 kW CO₂ lasers for welding hot or cold rolled sheets on continuous welding lines. Replacement of butt-welding for laser welding has led to the fact that the quality of the interface of the sheets has been significantly improved. In the early 2000s for welding hot steel bars of 30 mm thickness on a continuous finishing train were applied two 45 kW-GOVERNMENTAL CO₂ laser (Minamida, 2002).

In the early 1980s, to increase productivity, CO₂ lasers were used to make welded small diameter pipes made of stainless steel. So far, CO₂ lasers have been used in this field. In the mid-1990s, for the production of medium-diameter pipes and thick-walled pipes, a CO₂ laser with a power of 25 kW was used in combination with a high-frequency induction heating coil (Hayashi et al .,1996 ;.Ono et al., 2001) [8].

High-power CO₂ lasers have proved to be in demand in the manufacture of products for the orders of some chemical plants, for example, oil refineries. T-profiles can also be made with CO₂ lasers, where a 25 mm stringer is welded to the

beam. The components of the plasma reactor used to produce such complex semiconductor materials as carbon nanotubes are also manufactured by laser welding in a CO₂ environment, because CO₂ laser welding provides a low level of distortion. For the same reason, welding with CO₂ lasers is one of the technological operations in the production of ridge athletic shoes.

Laser welding of CO₂ been used in various industries since the mid-1970s. In the early 1990s, Nd YAG lasers were developed multi – kilowatt class. Their great advantage lies in the system of supplying laser radiation to the working area over the optical fiber, although, we note, the quality of the beam of YAG-lasers of the core is inferior to the quality of the CO₂ –laser beam. Therefore, the use of YAG laser welding is limited mainly by the area of thin plate welding [6-9].

In the mid-2000s, high-power disc and fiber lasers were developed. Since the quality of the beam of these lasers is very high, they have been used not only for welding thin plates, but also for welding heavy heavy profiles. Due to the rapid development and introduction of these lasers, the use of CO₂ laser welding in the industry is markedly reduced. Nevertheless, there remain a number of tasks that are still unavailable for fiber and disk laser welding because of the accompanying problems of complete reflow, splashing and the presence of a narrow range of optimum conditions for the welding process. Until these issues are resolved, the CO₂ -laser welding will continue to be in demand and CO₂ - lasers demand.

By 2000, the number of manufactured laser machines exceeded 250 units.

The strategic tasks of Russia in 2009 changed and President D. A. Medvedev adopted a policy of modernizing the country. Unseen before such complex technologies as laser welding, surfacing, surface hardening, determined the need for the development of the enterprise and the involvement of specialists with a higher and special level of training. The need for skilled work primarily of technologists and designers. A lot of work was done to present projects on laser welding, surfacing, surface hardening, laser cutting of steels over 20 mm thick [6-9].

1.2 Methods of hardening metals and alloys

Surface hardening of metals and alloys is widely used in the industry industry, in particular in modern machine building. It allows to obtain high hardness and wear resistance of the surface layer while maintaining a rather viscous core, contributes to the increase of durability and fatigue strength. Most of the machine parts work under conditions of wear, corrosion, as well as cyclic loads, which destroy the surface layer of the material. Therefore, other requirements are imposed on the properties of the surface layer of the metal, rather than on the properties of the inner layers. The use of various types of laser hardening makes it possible to significantly reduce the consumption of scarce high-alloy steels in the manufacture of critical machine parts, tools, improve reliability, and the durability of the products produced [14].

To date, there are many ways to harden the surface of metals and alloys in order to improve their performance characteristics, such as hardness, corrosion resistance, fatigue strength and others. All these methods are divided into the following basic methods:

1.2.1 Thermal methods

The methods of heat treatment include:

- Surface hardening.
- Recrystallization.

Surface hardening – the effect of hardening when laser action on metallic materials is observed due to ultra-high heating rates and subsequent cooling of the irradiated material.

When hardening, high hardness takes up only a part of the surface layer of the parts. The rest is not hardened and retains the structure and properties that were before hardening.

Parts of complex shape, band saws, cutting tools (milling cutters, drills), levers, axles are subjected to pulsed surface hardening. To this end, the quenched part of the part is heated to a temperature higher than the temperature of the conventional heating of the material for quenching, and then cooled at high speed by removing heat to the rest of the workpiece mass without the use of cooling media. As a result of pulsed hardening, a hardened "white" layer is obtained, stable at tempering to 450 C, having a fine-grained structure, high hardness and wear resistance [11].

1.2.2 Methods of surface deformation (surface hardening)

Embossing – the process of striking with a special device (mechanical, pneumatic, electromechanical) and a tool (for example, a drummer with a striker) on a hardened surface, in order to remove residual compressive stresses.

Running in - this is the movement of the deforming element a (roller or ball) pressed against the surface of the surface with a fixed force, while making a rotation around its axis. In the zone of local contact, a plastic deformation center arises, which moves along with the tool, so that the surface layer is successively deformed to some depth.

Diamond smoothing - is the plastic deformation of the surface to be treated with a tool that touches it - smoother. When smoothing out the unevenness, the surfaces remaining from the previous operation are smoothed out partially or completely, compacting the surface layer.

Advantage:

- high hardness of the surface layer, compressive residual stresses are formed in it, the microstructure changes;
- wear resistance and fatigue resistance increase.

Deformation aging is a process, changes in the mechanical properties of steels in time, can also take place after cold plastic deformation. Such aging

develops within a few minutes at a temperature of 200-350 C, and for 15 - 16 days at room temperature [10].

2 Research methods and materials

We used a coating of steel P6M5, which was previously deposited by the method of plasma powder coating on steel 20 with a thickness of 10 mm.

Impulse processing laser radiation on the surface of P6M5 steel was carried out using a laser welding machine HTF-50T using rectangular pulses. Before laser treatment, the surface was ground to a roughness of Ra 0.08 μm . For the comparative analysis, seven unit treatment zones were performed. The surface treatment modes were distinguished by the pulse action power and the pulse duration (Table 1). Laser treatment was carried out in open air, without protecting the surface of the coating from oxidation.

Energy parameters and characteristics of laser radiation were taken in accordance with GOST 24453-80 and GOST R 50005-92.

Investigations of the treated metal were carried out in a cross-section along the central axis of the points, and also in the longitudinal section in the surface layer.

Table 1 - Parameters of the modes of action of laser radiation on the structure and properties of the welded layer of steel P6M5

Mode No.	1	2	3	4	5	6th	7th
Peak power, kW	2.9	1.47	1.15	4.79	4.79	4.79	4.79
Average power, W	8.7	8.8	8.7	47.9	47.9	47.9	47.9
Pulse width, ms	1.0	2	2.5	4	4	4	4
frequency Hz	3	3	3	2.5	2.5	2.5	2.5
Diameter of the focused beam, mm	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5

Optical metallography was performed with the OLYMPUS GX51 microscope. Electron microscopy - using a Philips SEM 515 scanning electron microscope equipped with EDAX ECON IV microanalyzer.

Microhardness was measured on an HVS- 1000 instrument in steps of 100 μm under load 5 N.

The identification of the structure of the treated metal was carried out by dipping a pre-polished surface into reagents that have the following compositions:

- HNO_3 (ml): $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (ml)=4:100;
- HCl (ml): $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g): H_2O (ml): $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (ml)=20:1:15: 65.

The residence time of the metal in the solutions ranged from 20 to 60 seconds.