

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки машиностроение
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Изменение структуры и свойств покрытия на основе стали Р6М5 при воздействии импульсов лазерного излучения

УДК 621.791

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Хайдарова Анна Александровна	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев Алексей Сергеевич	Кандидат технических наук		

Томск – 2016г.

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки (специальность) машины и технологии сварочного производства
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Киселев А.С.
(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
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович

Тема работы:

Изменение структуры и свойств покрытия на основе стали Р6М5 при воздействии импульсов
лазерного излучения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Образцы, выполненные плазменной наплавкой порошка стали Р6М5, на платины из стали 20 и обработанные лазерным излучением различной мощности.

<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>Чистякова Наталья Олеговна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Природа лазерного излучения, технологические процессы лазерной обработки материалов, поведение материалов при лазерном излучении.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>03.02.2016 г.</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>1ВМ41</p>	<p>Силантьев Сергей Александрович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
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 процесс обработки лазерным лучом различных материалов.
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: - Уровень шума - Монотонный режим - Освещение - Микроклимат 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
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 78 с., 11 рис., 19 табл., 39 источников, 1 прил.

Ключевые слова: лазер, лазерное излучение, 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 влияния параметров режима импульсного лазерного воздействия на структуру и свойства покрытия на основе стали Р6М5.

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

В ходе исследования выяснили что, лишь на режимах с высокой мощностью можно получить наилучшие показатели с точки зрения формирования структуры и изменения твердости, однако эти показатели не значительно отличаются от состояния после плазменной порошковой наплавки.

Содержание

	С.
Введение	9
1 Литературный обзор	11
1.1 Способы поверхностного упрочнения деталей	11
1.1.1 Азотирование	11
1.1.2 Поверхностная закалка	12
1.1.3 Напыление	13
1.1.4 Обработка высококонцентрированными источниками энергии	13
2 Методика и материалы исследования	17
3 Результаты эксперимента	18
4 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	30
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	30
4.2 Технология QuaD	30
4.3 SWOT-анализ	32
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	33
4.5 Планирование научно-исследовательских работ	35
4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	35
4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	35
4.5.3 Разработка графика проведения научного исследования	36
4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	40
4.6.1 Расчет материальных затрат НТИ	40
4.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	41
4.6.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	42
4.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	43
4.6.5 Накладные расходы	44
4.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	44
4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	45

5	Социальная ответственность	48
	Введение	48
5.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	49
5.1.1	Анализ шума	49
5.1.2	Анализ монотонного режима работы	49
5.1.3	Анализ освещения	50
5.1.4	Анализ микроклимата	51
5.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	53
5.3	Охрана окружающей среды	54
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	55
5.5	Законодательное регулирование проектных решений	55
	Заключение	57
	Список использованных источников	59
	Приложение А	63

Введение

Интенсивное развитие техники и технологий в области упрочнения деталей механизмов и машин способствует проведению широкого ряда исследований в материаловедении. В настоящее время особо актуальным является исследование поведения металлических материалов при облучении их поверхности концентрированными потоками энергии (КПЭ) – лазерным или электронным лучом.

Как показывают многочисленные исследования, воздействие КПЭ на поверхность металла в течение короткого промежутка времени за счет аустенитно-мартенситных превращений в приповерхностном объеме материала способствует повышению твердости, износостойкости, прочности и усталостной сопротивляемости поверхности [1-6].

Среди КПЭ в последние годы все большее предпочтение отдается лазерному излучению (ЛИ). Лазерная обработка обладает такими достоинствами, как быстрота, малая зона теплового воздействия, минимальные искажения поверхности, легкость управления, нет необходимости использовать вакуум, чистота обрабатываемой поверхности и др.

За рубежом данный метод все чаще применяется при обработке колес железнодорожных вагонов и основывается на повышении твердости обработанной поверхности феррито-перлитной стали за счет мартенситного превращения или за счет микролегирования упрочняющими элементами.

В России применение метода поверхностного упрочнения с помощью лазера особенно эффективно при обработке инструментальных сталей. Большинство исследователей в своих работах используют импульсное лазерное излучение с длительностью импульсов от нескольких миллисекунд до фемтосекунд. Такое воздействие позволяет создавать большие градиенты температур на поверхности за счет быстрого теплоотвода от участка оплавления в нижние слои металла, а также позволяет управлять температурными полями приповерхностной зоны. К тому же создание

точечного упрочнения позволяет обрабатывать большие площади поверхностей без формирования хрупкого слоя, склонного к растрескиванию.

Изучение структурно-фазовых изменений в поверхностных слоях металлов позволяет сформулировать основные требования к энергетическим характеристикам ЛИ и определить оптимальные режимы воздействия лазером, необходимые для плавления или управления структурой.

В связи с недостаточным количеством сведений по влиянию импульсного лазерного излучения на поверхность инструментальных сталей типа Р6М5, широко применяемых в качестве упрочняющего покрытия деталей, целью данной работы является исследование влияния параметров режима импульсного лазерного воздействия на структуру и свойства покрытия на основе стали Р6М5.

1 Литературный обзор

1.1 Способы поверхностного упрочнения деталей

Поверхностное упрочнение деталей применяют для получения поверхностного слоя детали с не обходимыми свойствами, такие как износостойкость, твердость, эрозионная и коррозионная стойкость, жаропрочность и др. Поверхностное упрочнение применяют при изготовлении новых деталей и также для восстановления изношенных деталей.

К методам поверхностного упрочнения относятся: азотирование, поверхностная закалка, напыление, обработка высококонцентрированными источниками энергии [7-10].

1.1.1 Азотирование

Азотирование – это химико-термическая обработка стали, которая заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали атомарным азотом при ее нагреве до 500...650°C в атмосфере аммиака. Азотирование применяется для деталей склонных к короблению (деформациям), работающих на износ и испытывающих небольшие контактные нагрузки. Азотированию могут подвергаться практически все легированные стали. Достаточно широко применяется азотирование клапанов дизельных двигателей и деталей топливной аппаратуры, еще деталей турбин из высокохромистых сталей, а также используют азотирование для гильз цилиндров, штоков клапанов паровых турбин, игл форсунок, распылителей, пальцев, плунжеров, тарелок букс [7].

Достоинства метода азотирования:

- 1 повышает износостойкость поверхностного слоя детали;
- 2 повышает твердость поверхностного слоя детали;
- 3 повышает предел выносливости детали;

- 4 повышает сопротивление к коррозии в атмосфере влажного воздуха и пара.

Недостатки метода азотирования:

- 1 возможно коробление деталей;
- 2 длительность процесса;
- 3 применение дорогих легированных сталей.

1.1.2 Поверхностная закалка

Поверхностная закалка – это термическая обработка стали, при которой происходит закалка только поверхностного слоя стали, а сердцевина изделия остается незакаленной. Поверхностная закалка стали состоит из быстрого нагрева поверхностного слоя стали до температуры выше критической и последующего быстрого ее охлаждения.

Поверхностную закалку применяют для деталей, которые испытывают значительные знакопеременные ударные нагрузки. Такие детали должны обладать высокой твердостью и прочностью поверхностного слоя, сочетающиеся с достаточной вязкостью сердцевины. Поверхностную закалку применяют для деталей зубчатых колес, кулачковых валов двигателей внутреннего сгорания, подшипниковых узлов и других деталей испытывающих знакопеременные ударные нагрузки [7].

Достоинства метода поверхностной закалки:

- 1 повышает выносливость детали к воздействию динамических нагрузок;
- 2 повышает твердость поверхностного слоя детали, а сердцевина остается пластичной;
- 3 повышает износостойкость поверхностного слоя детали.

Недостатком метода поверхностной закалки является высокая стоимость оборудования для проведения закалки.

1.1.3 Напыление

Напыление – это нанесение покрытий с особыми свойствами на сталь распылением жидкого или измельчением твердого вещества струей сжатого воздуха. Напыление применяют для восстановления изношенных деталей, а также при изготовлении новых с целью получения необходимых свойств поверхностного слоя детали [8].

Достоинства метода напыления:

- 1 повышает твердость поверхностного слоя детали;
- 2 повышает износостойкость поверхностного слоя детали;
- 3 повышает эрозионную и коррозионную стойкость детали;
- 4 повышает жаростойкость детали.

Недостатком метода напыления является склонность к откалыванию напыленного слоя от поверхности детали при нарушении технологии.

1.1.4 Обработка высококонцентрированными источниками энергии

К высококонцентрированным источникам энергии относятся ионные и электронные пучки, плазменные и лазерные потоки. Наиболее распространены плазменная, лазерная, и электронно-лучевая технологии.

1.1.4.1 Плазменная технология наплавки

Плазменная технология - это совокупность методов получения и обработки материалов с использованием плазмы с целью получения необходимых свойств поверхности обрабатываемой детали. При плазменной обработке изменяются размеры, форма, состояние его поверхности и структура обрабатываемого материала.

Для поверхностного упрочнения или восстановления деталей механизмов и машин широко используется плазменная наплавка, которая заключается в нанесении покрытия из расплавленного проволочного или присадочного порошкового материала на деталь с использованием в качестве источника нагрева сжатой дуги, горящей между изделием и электродом плазмотрона. Плазменную наплавку используют в основном для изготовления новых деталей с износостойкими и коррозионностойкими свойствами поверхности, а также для восстановления изношенных деталей за счет нанесения покрытий обладающих высокой прочностью сцепления с поверхностным слоем детали, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, высоких динамических нагрузок, подверженных коррозионному, абразивному, высокотемпературному воздействию [9].

В качестве присадочного материала используются разнообразные металлические порошки, порошковые проволоки и литые присадочные прутки, цельнотянутые сварочные и наплавочные проволоки. Номенклатура наплавляемых материалов: легированные чугуны, углеродистые, легированные и высоколегированные стали, сплавы на основе никеля, железа, кобальта, цветные металлы, смеси с карбидами и др. [9].

Металлический порошок способствует значительному повышению износостойкости и увеличению срока службы восстановленных деталей. Он может быть получен практически из любого сплава или стали независимо от их твёрдости, прочности, степени легирования и других свойств, и с этой точки зрения металлические порошки являются универсальным присадочным материалом [9].

1.1.4.2 Электронно-лучевая технология наплавки

Электронно-лучевая технология - это совокупность методов получения и обработки материалов с использованием электронного пучка с целью

получения необходимых свойств поверхности обрабатываемой детали. Электронно-лучевая обработка материалов осуществляется в вакууме.

К электронно-лучевой технологии относится электронно-лучевая наплавка, которая осуществляется в вакууме за счет расплавления кромок основного металла сфокусированным потоком электронов, имеющим высокую удельную мощность. Технологический диапазон для целей нагрева, плавления, испарения составляет $\sim 10^4$ — $5 \cdot 10^8$ Вт/см².

Под воздействием электронного луча и подаче порошковой смеси на поверхности детали реализуются процессы порошковой металлургии в режиме жидкофазного спекания с полным сохранением состава, свойств задаваемой порошковой композиции и дисперсности. Из-за высокой плотности, мощности в луче, малого объёма расплавленной ванны (10-20 мм³) и возможности оперативного управления энергетическими характеристиками луча, появляется возможность управлять этими процессами, изменяя не только интегральную температуру ванны, а также скорость её нагрева и охлаждения.

Высокая концентрация энергии в луче позволяет получать при больших скоростях электронно-лучевой наплавки узкие валики с минимальной зоной термического влияния и высокими механическими свойствами металла шва и околошовной зоны [11].

Технология электронно-лучевой наплавки позволяет использовать самые различные порошковые композиции, включая ультрадисперсные. Всё это делает эту технологию универсальной как в плане многообразия функциональных свойств порошковых покрытий, так и в плане нанесения покрытий любой толщины, включая слоистые и градиентные, на деталь из любых металлов, сплавов и любой геометрии [11].

1.1.4.3 Лазерная технология поверхностного упрочнения

Лазерная технология - это совокупность методов получения и обработки материалов с использованием лазерного излучения с целью получения необходимых свойств поверхности обрабатываемой детали.

К лазерной технологии относится лазерная поверхностная обработка. При поверхностной лазерной обработке происходит улучшение эксплуатационных свойств деталей. Это связано с изменением структурного состояния, химического и фазового составов поверхностных слоев деталей [12].

К лазерной поверхностной обработке относится наплавка. Лазерная наплавка основана на использовании энергии светового потока высокой степени направленности. Это вид сварки плавлением, при котором нагрев материала осуществляется когерентным световым лучом, создаваемым оптическим квантовым генератором — лазером. Основной частью такой установки является генератор, преобразующий энергию, запасенную в блоке конденсаторов, в энергию когерентного светового луча. Лазер позволяет сконцентрировать на поверхности детали энергию при плотности мощности от предельно малых величин до 10^{17} Вт/см². Энергия может передаваться материалу бесконтактно, на значительные расстояния от генератора и строго дозировано. Присадочный материал может использоваться в виде порошка, проволоки или фольги. Наиболее часто для наплавки используют порошкообразный сплав, который предварительно наносят на восстанавливаемую поверхность в виде обмазки на основе клеевых составов. Это позволяет обеспечить равномерность прогрева по наплавляемой поверхности с минимальными потерями порошка и, кроме того, повышает до 60 — 70 % степень поглощения лазерного излучения [12].

Так же с помощью лазера можно осуществлять закалку поверхностного слоя детали. Она используется для сложных изделий, когда не возможно или затруднено применение других видов закалки. Процесс лазерной закалки

заключается в том, что происходит быстрый нагрев детали лазерным излучением выше температуры фазовых превращений и последующем охлаждением за счет теплоотвода. В результате лазерной заковки в поверхностном слое детали происходит образование специфической высокодисперсной структуры, которая имеет микротвердость в 2-5 раз больше основного металла.

2 Методика и материалы исследования

В работе производили обработку импульсным лазерным излучением покрытия из стали Р6М5, которое предварительно было нанесено методом плазменной порошковой наплавки на сталь 20 толщиной 10 мм. Перед лазерной обработкой поверхность была зашлифована до шероховатости Ra 0,08 мкм.

Воздействие лазерным излучением осуществляли с помощью лазерной сварочной установки НТФ-50Т с использованием прямоугольных импульсов. Для сравнительного анализа были выполнены восемь единичных зон обработки и одна линейная зона, представляющая собою ряд точек импульсного воздействия, наложенных друг на друга с частичным перекрытием. Перекрытие составляло $\frac{1}{2}$ диаметра точки.

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

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.

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

Изучение макро - и микроструктуры производили с помощью оптической и электронной металлографии. Оптическую металлографию

осуществляли с помощью микроскопа OLYMPUS GX51 и комплекта прикладных программ SIAMS 700 в режимах светлого поля и дифференциально-интерференционного контраста. Электронную микроскопию – с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515, снабженного микроанализатором EDAX ECON IV.

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

№ режима	Пиковая мощность, (P _{и.мах}) кВт	Средняя мощность, (P _{и.ср}) Вт	Длительность импульса, (τ _и) мс	Частота следования импульсов, (F _и) Гц
1	1,50	15,8	7,0	Одиночный импульс
2	2,00	21,0	7,0	
3	2,42	25,4	7,0	
4	4,05	42,5	7,0	
5	4,94	43,2	3,5	
6	4,79	47,9	4,0	
7	4,65	41,8	4,5	
8	4,52	45,2	5,0	
9	2,00	21,0	7,0	1,5

Выявление структуры обработанного металла осуществляли методом окупания предварительно отполированной поверхности в реактивы, которые имеют следующие составы: HNO₃(мл):C₂H₅OH(мл)=4:100; HCl(мл):CuCl₂·H₂O(г):H₂O(мл):C₂H₅OH(мл) = 20:1:15:65. Время выдержки металла в растворах варьировалось от 20 до 60 секунд.

Микротвердость измеряли на приборе HVS-1000 с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 5 Н и на приборе ПМТ – 3 с шагом по глубине 10 мкм.

3 Результаты эксперимента

При воздействии ЛИ на поверхность стали Р6М5 часть потока энергии отражается от поверхности, а остальная часть поглощается в тонком поверхностном слое, вызывая его нагрев, частичное плавление и испарение. Из-за малого радиуса пятна нагрева, кратковременности процесса и резкой

неравномерности распределения температуры по площади пятен нагрева
прямое измерение распределения температуры по поверхности зоны импульса
ЛИ затруднительно и в работе не проводилось.

На рисунке 1 показана поверхность точек импульсного облучения.

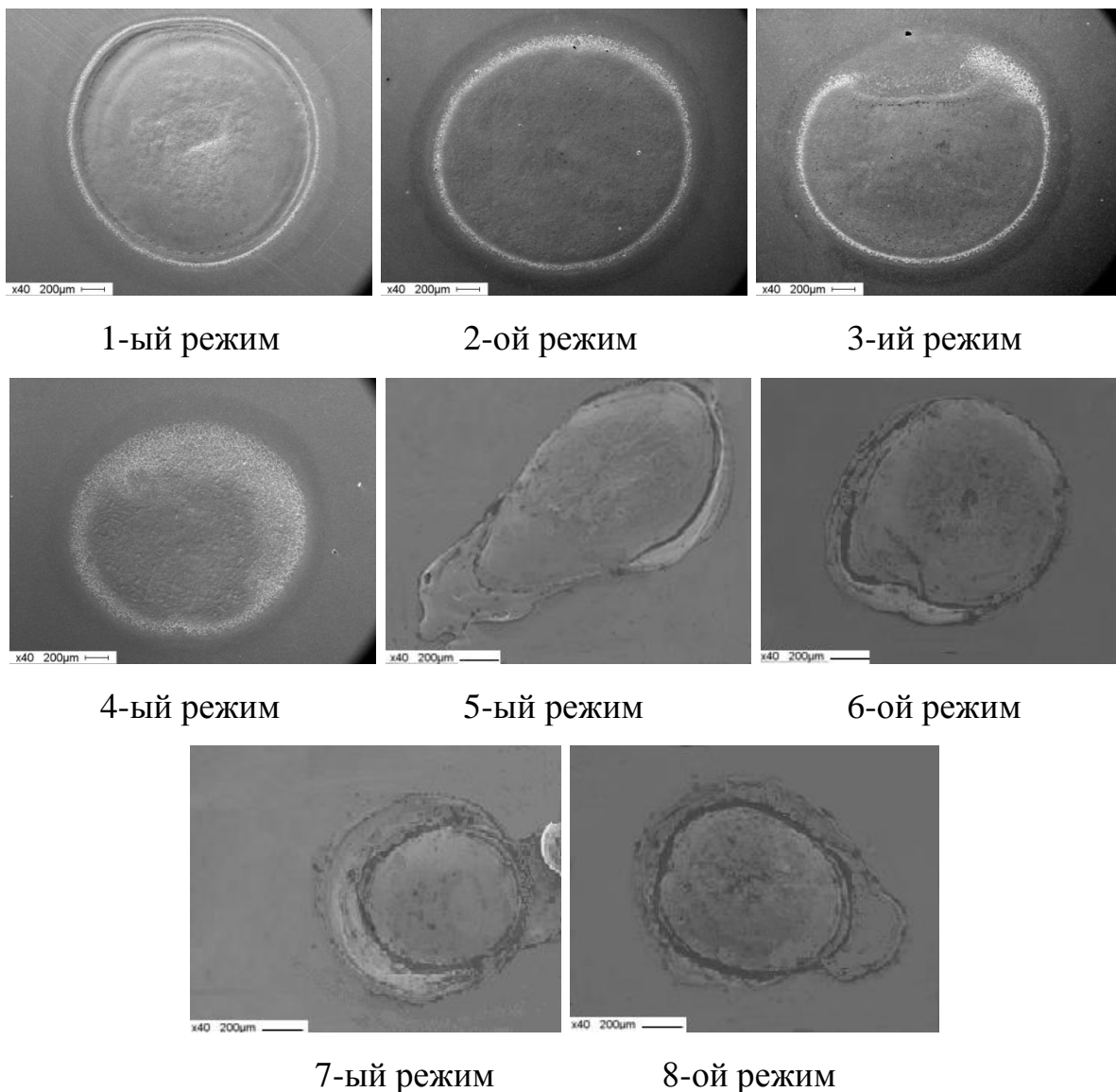


Рисунок 1 – Поверхность точек облучения

При лазерном оплавлении поверхности на режимах с малыми значениями пиковой мощности наблюдается формирование округлой точки оплавления без значительного выплеска металла. Увеличение пиковой мощности свыше 4,5 кВт способствует заглублению луча лазера и формированию выплеска расплавленного металла.

Процессы локального плавления и испарения под воздействием лазерного излучения приводят к реактивному давлению отдачи, последующему

деформированию поверхности ванны и заглоблению источника теплоты. Форма ванны расплава полученных в работе точек воздействия изменяется в зависимости от значения пиковой мощности и длительности импульса.

На рисунке 2 представлены макрофотографии поперечного сечения точек облучения. Форма ванны расплава точек, полученных при длительности импульса 7,0 мс и пиковой мощности до 4,5 кВт близка к полусферической (рис. 2,а). Глубина оплавления, в этом случае, не превышает 240 мкм (рис. 3,а).

Увеличение пиковой мощности свыше 4,5 кВт с одновременным уменьшением длительности импульса способствует большему заглоблению луча лазера в металл и приводит к формированию кинжальной формы проплавления обрабатываемой поверхности (рис. 2,б)

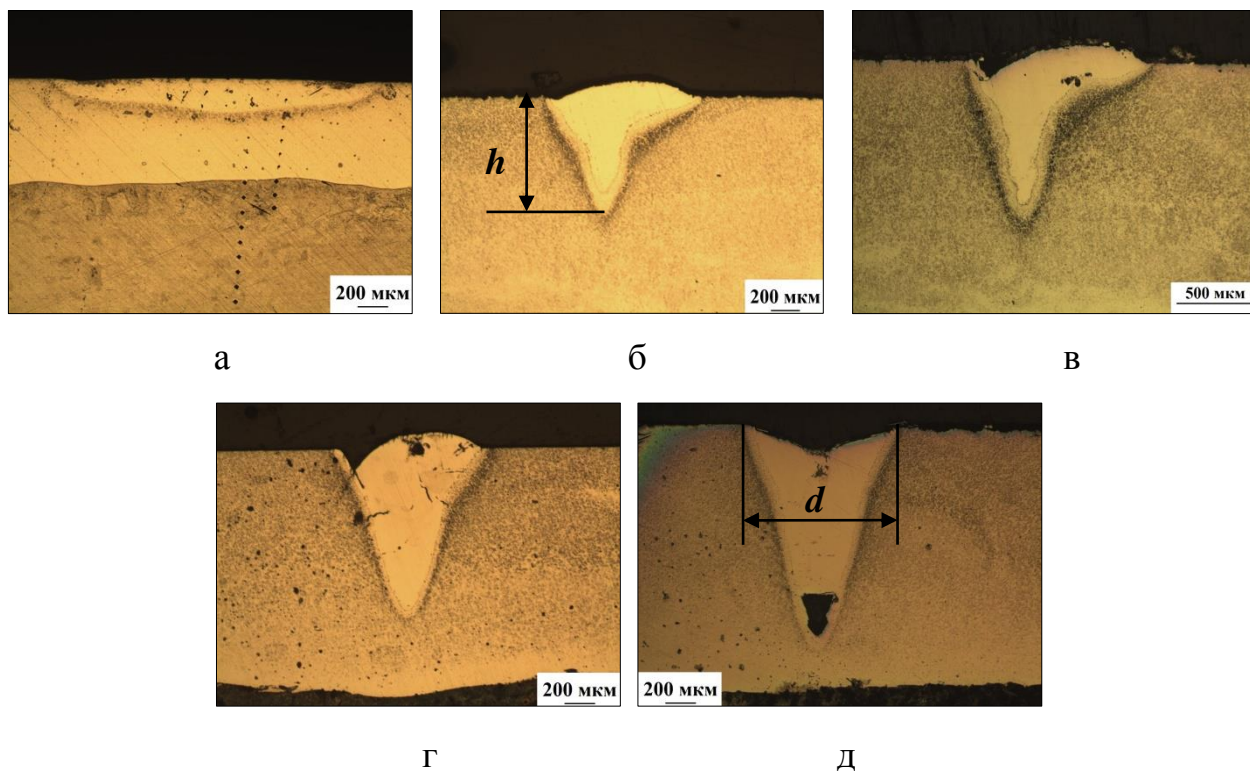


Рисунок 2 - Поперечное сечение точек воздействия ЛИ на поверхность стали Р6М5 при пиковой мощности ЛИ: а – 2,0 кВт, б – 4,52кВт, в – 4,65 кВт, г – 4,79 кВт, д – 4,94 кВт

В связи с наличием выплеска на поверхности точек, полученных на режимах с высокими значениями пиковой мощности для анализа характера воздействия импульсного излучения диаметр точки у поверхности (d) измеряли

на макрофотографиях поперечного сечения образцов, так же как и глубину оплавления (h). На рисунке 3 представлены графики зависимости ширины и глубины зон оплавления в зависимости от пиковой мощности лазерных импульсов.

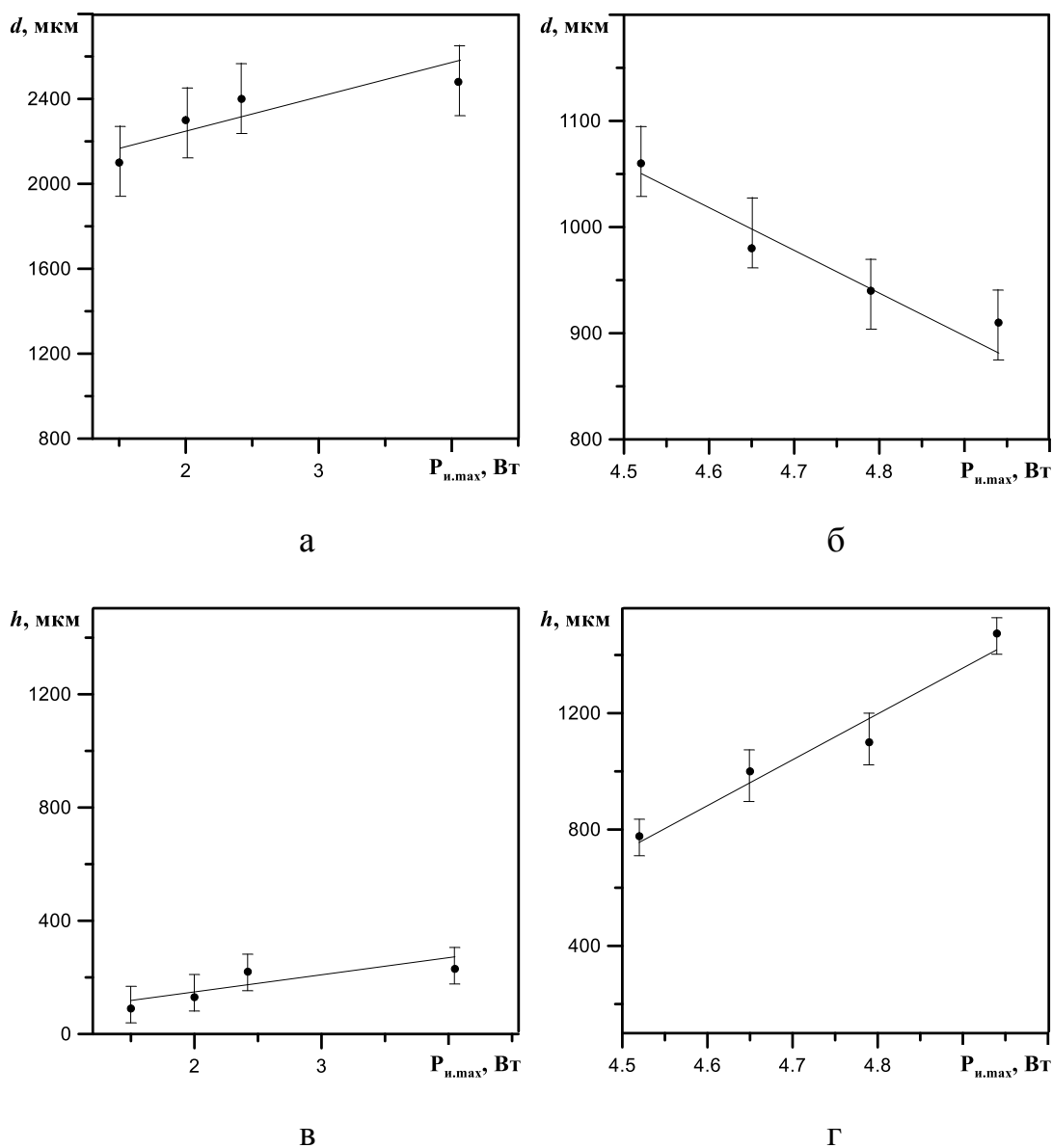


Рисунок 3 – Графики изменения диаметра точки облучения от пиковой мощности при постоянной длительности импульса 7,0 мс (а), при уменьшении длительности импульса (б) и изменения глубины проплавления при постоянной длительности импульса 7,0 мс (в), при уменьшении длительности импульса (г)

Анализ зависимости геометрических параметров точек облучения от энергетических параметров лазера показал, что при постоянной длительности импульса порядка 7 мс и увеличении максимальной мощности импульсного

излучения диаметр пятна облучения находится в пределах 2,1...2,5 мм (рис. 3,а). Проплавление металла в этом случае незначительно и колеблется в пределах от 100 до 240 мкм (рис. 3,в). Уменьшение длительности импульса при одновременном увеличении максимальной мощности излучения приводит к резкому уменьшению диаметра точки воздействия (рис. 3,б) и росту глубины проплавления (рис. 3,в).

На рисунке 4 представлен график изменения диаметра точек воздействия и глубины проплавления в зависимости от длительности импульса.

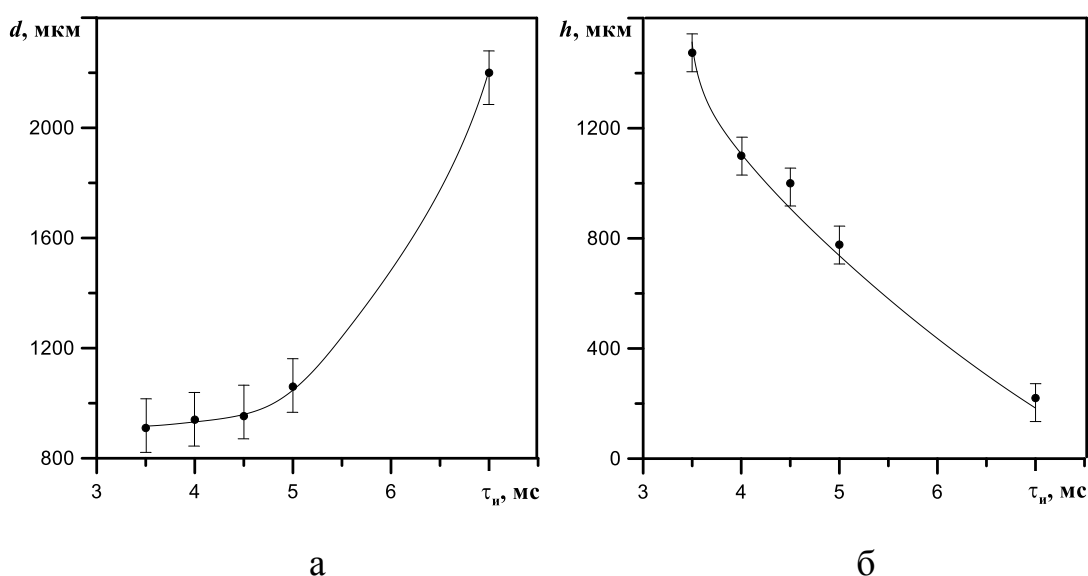


Рисунок 4 – зависимость диаметра пятна облучения (а) и глубины проплавления (б) от длительности импульса

Из рисунка 4 видно, что при увеличении длительности импульса в два раза, происходит значительный рост диаметра пятна при уменьшении глубины проплавления. Такое изменение геометрических характеристик точек облучения связано с разным характером распределения энергии. Согласно распределению Гаусса максимальная энергия находится в центре импульса и плавно уменьшается к краям. В этой связи, чем короче импульс, тем большее количество энергии приходится на центр точки, и тем глубже проникает лазерный луч вглубь металла.

При изучении микроструктуры оплавленного металла, выявлено, что все точки имеют три характерных участка: литая зона (ЛЗ) – центральная часть

пятна; зона закалки (ЗО) или зона оплавления и зона термического влияния (ЗТВ) (рис. 5).

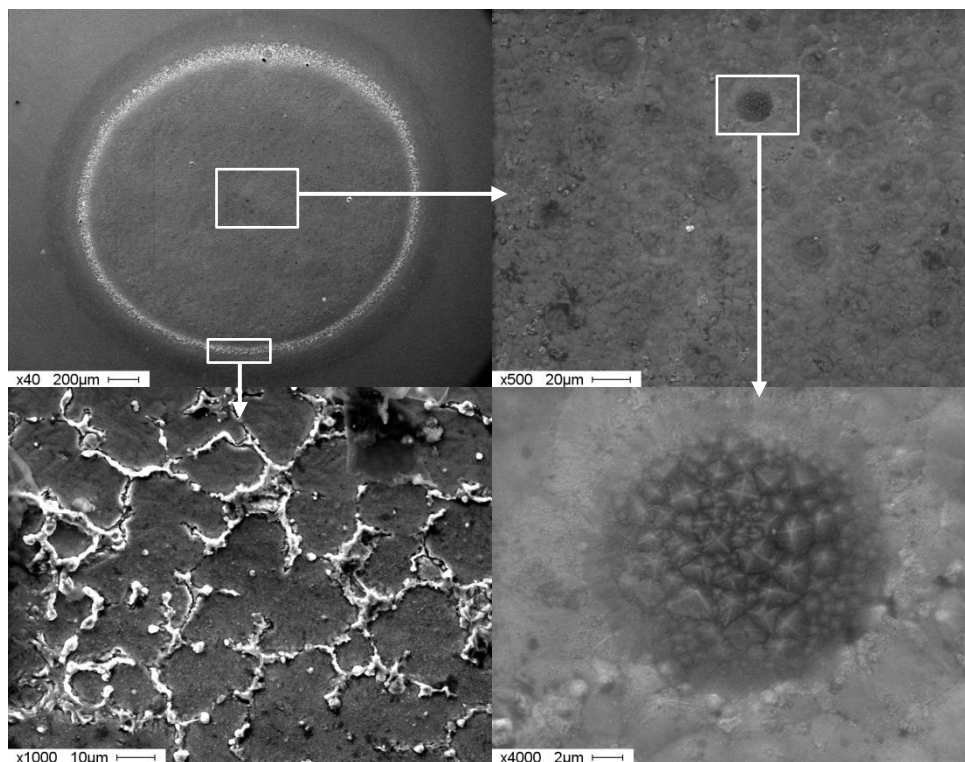


Рисунок 5 – Микроструктура поверхности точки оплавления

На снимках, полученных с помощью электронной микроскопии, зона оплавления представлена светлой окружностью различной ширины. Зона термического влияния, также как и ЗО имеет неравномерную ширину по глубине оплавления (рис. 2 и 5), что связано с неравномерным поглощением энергии лазерного излучения.

В зоне оплавления за счет больших скоростей кристаллизации металла из жидкого состояния происходит значительное изменение исходной структуры стали Р6М5 (рисунок 5). Центральная часть имеет дендритное строение, исчезает характерная для стали Р6М5 сетка эвтектических карбидов в процессе их растворения. В результате вскипания расплава на локальном участке поверхности происходит образование кратеров (рисунок 5). При более детальном изучении формирующихся кратеров заметно формирование дендритов, растущих вдоль луча лазера.

Отсутствие защиты обрабатываемой поверхности расплава в процессе

лазерного оплавления от воздуха приводит к поглощению газов из окружающей среды под воздействием конвекционных потоков в тонком поверхностном слое. Это способствует окислению металла на всей поверхности точек, о чем свидетельствует наличие большого количества кислорода, выявленного с помощью микрорентгеноспектрального анализа (рисунок 6).

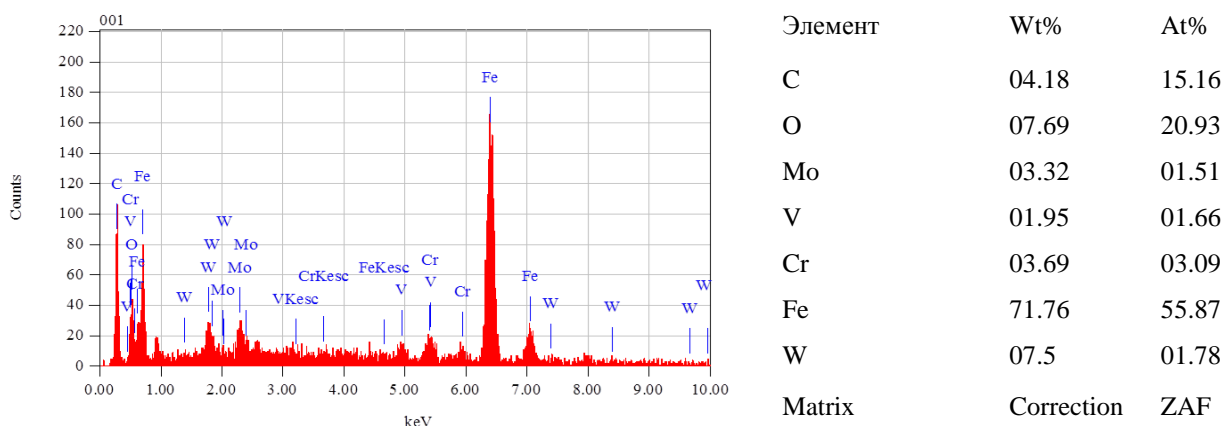


Рисунок 6 - Микрорентгеноспектральный анализ, выполненный на поверхности зоны оплавления

Зона закалки или оплавления представляет собою аустенитно-мартенситную матрицу с сеткой эвтектических карбидов, расположенных по границам зерен (рисунок 7,а). В отличие от пластинчатой структуры эвтектических карбидов, находящихся в исходном состоянии в стали Р6М5, в зоне закалки карбиды представлены в виде диспергировавших образований, расположенных ближе к зоне оплавления, и стержней, расположенных ближе к зоне термического влияния. При этом усиление разветвления эвтектических фаз происходит возле ЗТВ. Внутри зерен наблюдается большое количество дисперсных выделений размером ~0,5 мкм. Основываясь на результатах рентгеноструктурного анализа, проведенного в работах [30,31], можно предположить, что данные выделения представляют собою карбиды, в состав которых входят W, Mo, Cr, V и Fe.

Зона термического влияния хорошо протравливается в реактиве $\text{HNO}_3(\text{мл}): \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{мл})=4:100$ (рисунок 7,б). На микрофотографии отчетливо заметно крупноигльчатое мартенситное строение с сеткой эвтектических карбидов по границам зерен. Мелкодисперсных выделений, характерных для

зоны закалки, в зоне термического влияния не выявляется. Ширина ЗТВ определенной зависимости от мощности луча лазера не имеет и варьируется в пределах от 80 до 110 мкм.

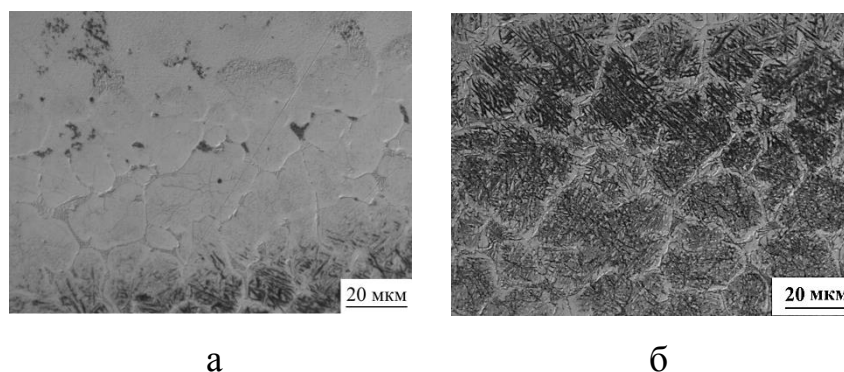


Рисунок 7 - Микроструктура зоны закалки (а) и зоны термического влияния (б)

Капиллярные и термокапиллярные явления, происходящие в точках расплава, наряду с мартенситными превращениями, приводят к деформации поверхности за счет изменения силы поверхностного натяжения и формированию трещин. При этом, чем больше коэффициент формы провара ($k=h_{пр}/d$), который увеличивается с ростом мощности ЛИ, тем больше возникающие деформации и размеры трещин (рисунок 8,а,б).

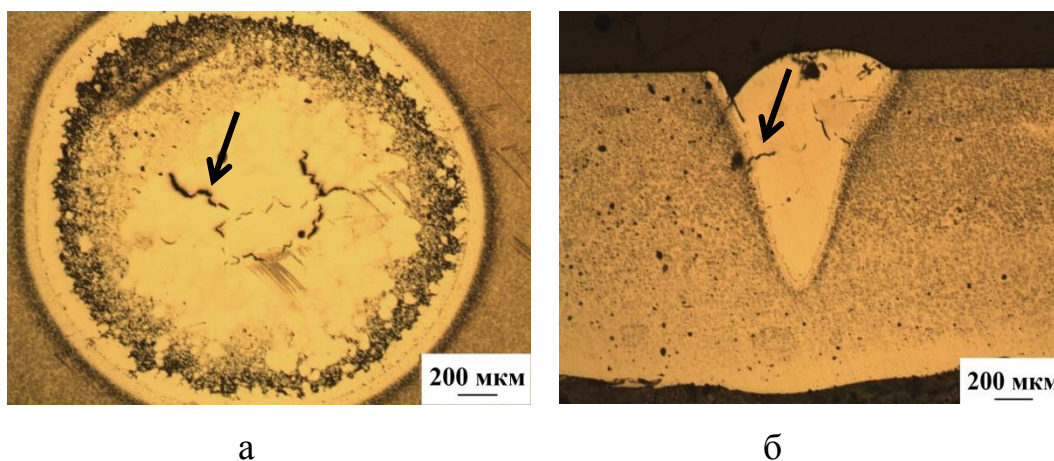


Рисунок 8 – Формирование трещин на поверхности точки лазерного облучения (а), в поперечном сечении точки (б)

При обработке поверхности из стали Р6М5 лазерным излучением с пиковой мощностью до 2 кВт поверхность точки остается плоская без выплесков, в поперечном сечении трещин и пор не наблюдается (рисунок 2,а). При повышении пиковой мощности лазера до 4,52 кВт поверхность в центре

точки становится выпуклая, по краю точки в районе ЗТВ не много вогнутая из-за выплеска металла, в поперечном сечении пор и трещин нет (рисунок 2,б). При дальнейшем увеличении пиковой мощности до 4,65 и 4,79 кВт поверхность в центре точки остается выпуклая, но по краю точки в районе ЗТВ происходит значительное увеличение вогнутости поверхности из-за увеличения выплеска, в поперечном сечении появляются поры и трещины (рисунок 2, в, г). На максимальной пиковой мощности 4,79 кВт в центре точки появляется равномерная вогнутость поверхности, которая образовалась вследствие большого выплеска металла, в поперечном сечении образовались трещины и большая пора, которая находится на максимальной глубине литого металла точки (рисунок 2,д).

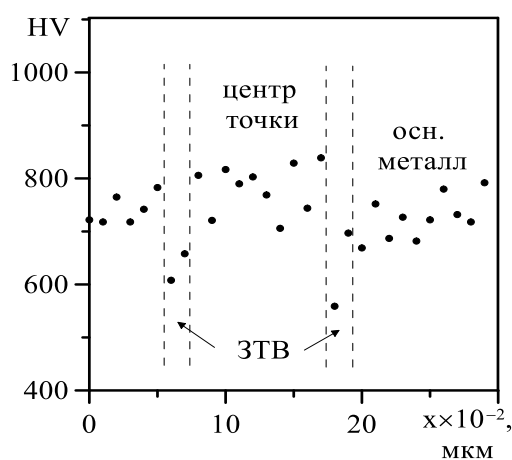
Структурные изменения в металле после оплавления лазером способствуют изменению твердости в отдельных зонах лазерного воздействия. Распределение микротвердости поперек точек оплавления измеряли после полировки поверхности до шероховатости Ra 0,08 мкм.

Зона термического влияния представляет собой наиболее разупрочненную область точек лазерного воздействия. Уровень твердости в ЗТВ снижается на 25...30% по сравнению с твердостью основного материала, не подверженного обработке (рисунок 9). Это связано с отпуском мартенситной границы близкорасположенной к зоне закалки, что происходит за очень короткое время в случае нагрева метастабильной структуры [1].

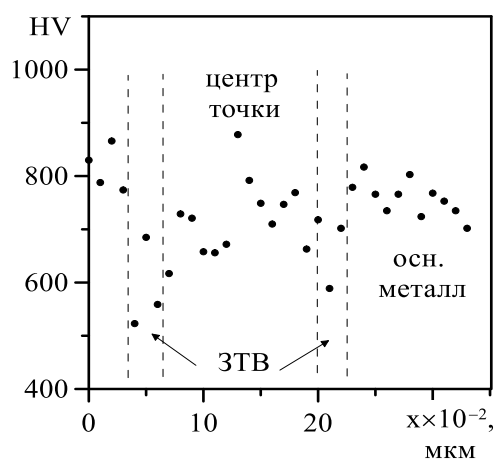
В центральной части точек и в зоне закалки в результате формирования структурной неоднородности наблюдается неравномерное распределение микротвердости, что особенно проявляется при обработке лучом лазера мощностью от 1,5 до 2,42 кВт (рисунок 9, а-в). Средний уровень твердости данных зон сравним с твердостью стали Р6М5 в состоянии после наплавки (~790...800HV).

При увеличении мощности лазерного излучения до 4,05 кВт средний уровень твердости обработанного металла увеличивается на 10...15% в основном за счет увеличения ширины зоны закалки, содержащей большое

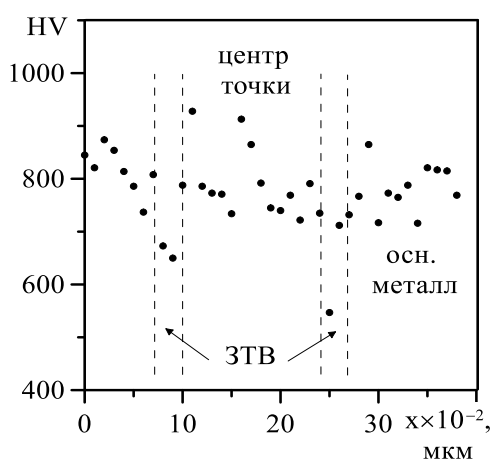
количество эвтектических и вторичных карбидов (рисунок 9, г). Повышение мощности воздействия лазером наряду с ростом среднего уровня твердости обработанного металла способствует её выравниванию по пятну нагрева.



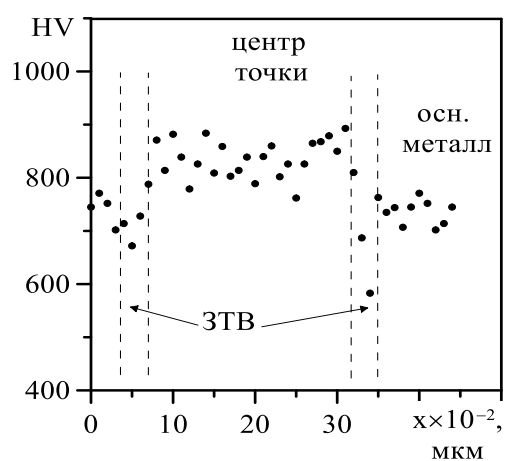
а



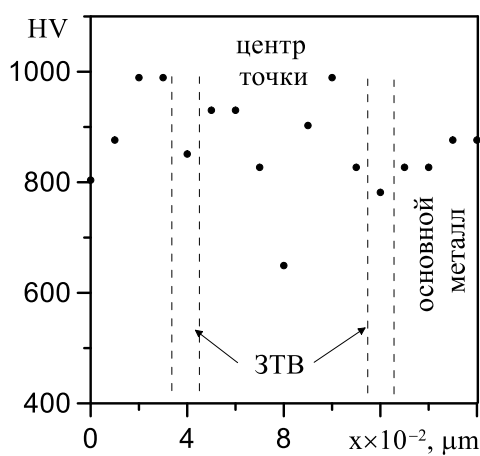
б



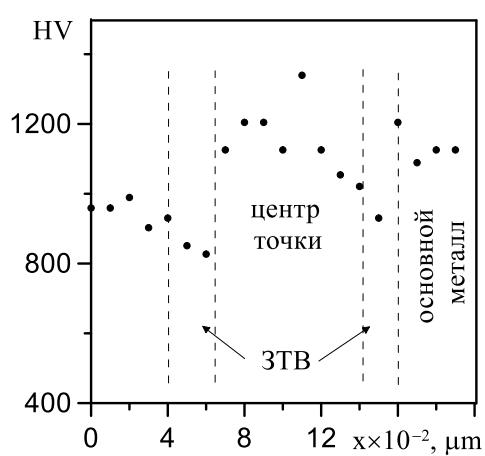
в



г



д



е

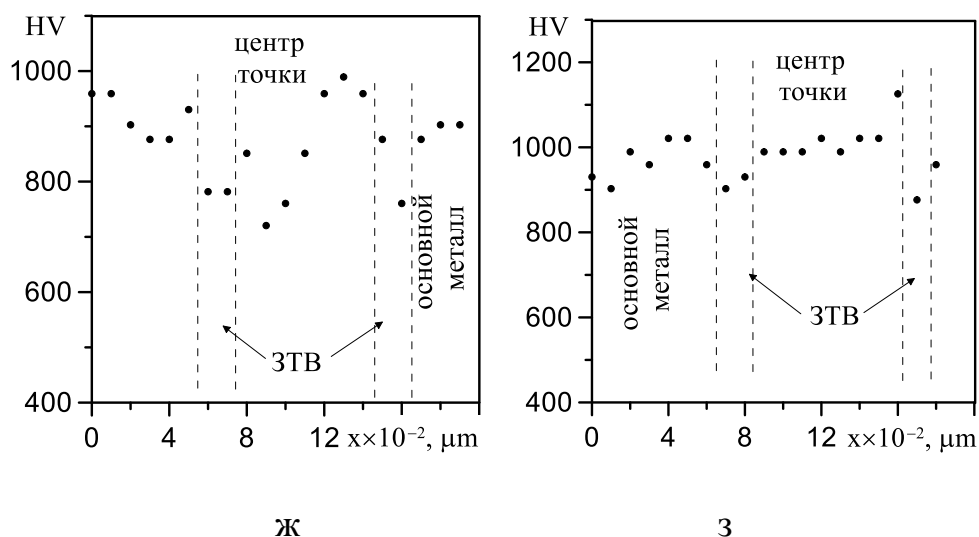


Рисунок 9 - Распределение микротвердости в поперечном сечении точек лазерного воздействия: а – режим 1-ый, б – режим 2-ой, в – режим 3-ий, г – режим 4-ый, д – режим 5-ый, е – режим 6-ой, ж – режим 7-ой, з – режим 8-ой

При обработке лазерным излучением микротвердость в поперечном сечении точек лазерного воздействия находится на уровне твердости после плазменной наплавки при пиковой мощности 4,94 кВт средняя твердость 860...870 HV(рисунок 9,д), при мощности 4,79 кВт средняя твердость 1150...1140 HV(рисунок 9,е), при мощности 4,65 кВт твердость составляет 890...900 HV(рисунок 9,ж), при пиковой мощности 4,52 кВт средняя твердость составляет 990...1010 HV(рисунок 9,з).

Анализ распределения микротвердости по сечению всех точек свидетельствует о наличии разупрочнения в зоне термического влияния. При этом в центре литого ядра в некоторых случаях также наблюдается незначительное снижение твердости.

Наличие узких участков разупрочнения при импульсном лазерном воздействии на сталь Р6М5 необходимо учитывать при обработке поверхности перекрывающимися точками лазерного воздействия.

При обработке поверхности стали Р6М5 последовательным наложением перекрещивающихся импульсов лазера происходит равномерное проплавление основного металла на глубину ~130...140 мкм, что соответствует глубине проплавления при одиночном импульсе мощностью 2,0 кВт (рисунок 10,а).

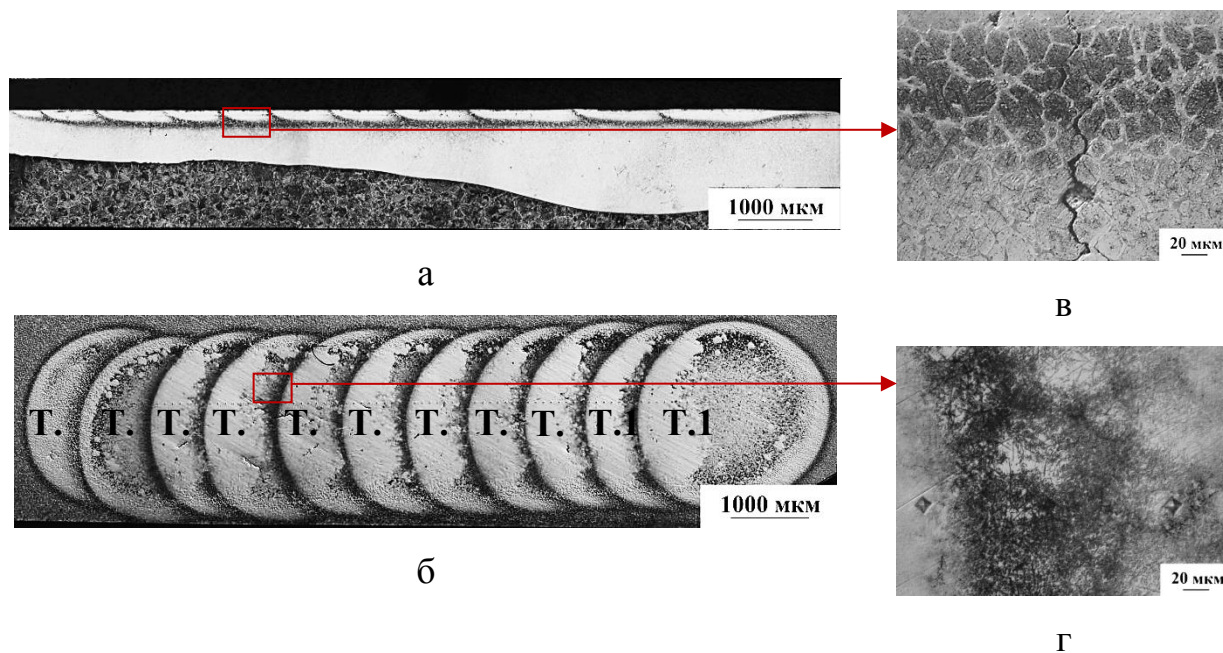


Рисунок 10 - Макроструктура поперечного сечения (а) и поверхности (б) дорожки, выполненной серией импульсов лазерного излучения и микроструктура ЗТВ в поперечном сечении под точкой Т.5 (в)

На поверхности центральных точек (Т.3...Т.6 на рисунке 10,б), а также под ними в области ЗТВ (рисунок 10,в) наблюдается формирование трещин.

В местах перекрытия точек формируется узкая зона термического влияния (рисунок 10,а,б). Данная область, сформированная на ранее оплавленном лазером участке металла, имеет структуру мелкоигольчатого мартенсита (рисунок 10,г). Твердость данного участка на 20...30% ниже твердости зоны оплавления и зоны закалки (рисунок 11). В целом средний уровень твердости металла, обработанного серией импульсов, составляет ~800HV и находится на уровне твердости покрытия из стали Р6М5 непосредственно после наплавки.

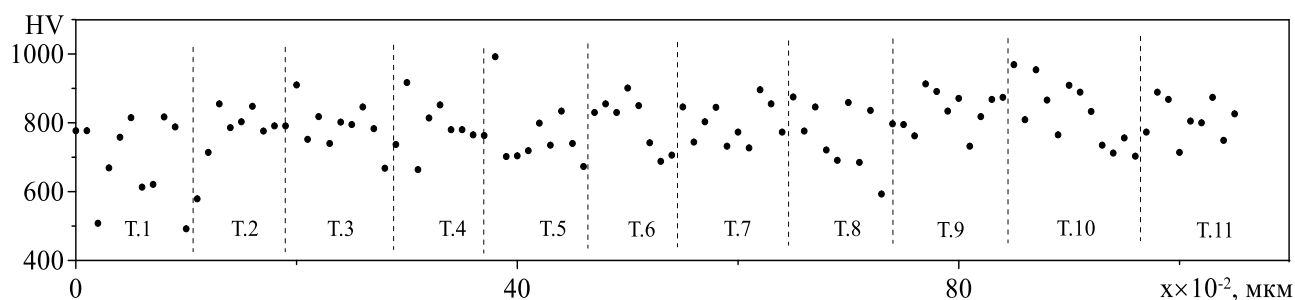


Рисунок 11 - Распределение микротвердости в поверхностном слое дорожки лазерного воздействия в направлении от первой точки к последней

Таким образом, термоциклирование при последовательной обработке импульсами лазерного излучения стали Р6М5 не позволяет существенно изменить твердость обработанного слоя по сравнению с твердостью стали Р6М5 после наплавки.

4 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Исследовали влияние лазерного излучения на поверхность инструментальных сталей типа Р6М5. Сталь Р6М5 для покрытий предназначена для восстановления и упрочения штампового инструмента плазменной наплавкой, для изготовления режущего и формообразующего инструмента методом горячего компактирования, создания рабочих поверхностей режущего инструмента, упрочнения валков холодной прокатки плазменной наплавкой. Следовательно, потенциальными потребителями результатов наших исследования будут заводы находящиеся любой области Российской Федерации производящие инструмент и ремонтирующие его. В Томске два завода занимающиеся этим, это Томский инструментальный завод и ОАО «Томский электромеханический завод».

4.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение

целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 100%.

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	20%	100	100	1	20
2. Унифицированность	5%	50	100	0,5	2,5
3. Уровень материалоемкости разработки	10%	20	100	0,2	2
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	10%	70	100	0,7	7
5. Ремонтпригодность	10%	90	100	0,9	9
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	10%	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	10%	50	100	0,5	8
8. Перспективность рынка	10%	50	100	0,5	5
9. Цена	10%	30	100	0,3	3
10. Финансовая эффективность научной разработки	5%	70	100	0,7	3,5
Итого	100%	610	1000	6,1	68

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где $P_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что перспективность проделанного исследования выше среднего.

4.3 SWOT-анализ

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

Таблица 3- Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>C1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>C2. Наличие опытного руководителя</p> <p>C3. Использование современного оборудования</p> <p>C4. Наличие современного программного продукта</p> <p>C5. Актуальность проекта</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Высокая стоимость лазерного оборудования</p> <p>Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
<p>V1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>V2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>V3. 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 научного 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>

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4, 5, 6, 7.

Таблица 4- Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

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

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

Таблица 5- 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 6- Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

		Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-

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

Таблица 7 - 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.

4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 8 - Морфологическая матрица методов обработки поверхности детали с целью ее упрочнения.

	1	2	3
А. Вид наплавки	Плазменная наплавка	Электронно-лучевая наплавка	Электродуговая наплавка
Б. Вид наплавочного материала	Порошок стали Р6М5	Электроды марки ЦИ-1М, ЦИ-1Л, ЦИ-1У	Порошковая смесь хрома с карбидом бора
В. Лазерная обработка поверхности детали	Малой мощностью	Средней мощностью	Высокой мощностью

Возможные варианты решения технической задачи:

- 1) А1Б1В3 – В первом случае, применяем плазменную наплавку это связано с высокой концентрацией тепловой мощности и минимальной шириной зоны термического влияния, наиболее эффективно наплавлять плазменной наплавкой порошки на основе стали Р6М5, при использовании максимальной мощности лазерной обработки можно достичь наибольшей твердости и износостойкости поверхностного слоя детали.
- 2) А2Б3В3 – Во втором случае, применяем электронно-лучевую наплавку это связано с тем, что она производится в вакууме и исключается выгорание из присадочного материала легирующих элементов, при использовании в качестве наплавочного материала порошковой смеси хрома с карбидом бора можно достичь высокой износостойкости и коррозионно - стойкости поверхностного слоя изделия, так же как и в первом случае при использовании максимальной мощности лазерной обработки можно достичь наибольшей твердости и износостойкости поверхностного слоя детали.
- 3) А3Б2В3 - В третьем случае, применяем электродуговую наплавку это связано универсальностью, экономичностью и высокой производительностью данного способа, с целью получения качественного износостойкого покрытия используют наплавочные электроды марок ЦИ-

1М, ЦИ-1Л, ЦИ-1У, в данном случае так же при использовании максимальной мощности лазерной обработки можно достичь наибольшей твердости и износостойкости поверхностного слоя детали.

4.5 Планирование научно-исследовательских работ

4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 9-Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали.	
Практические исследования	9	Лазерная обработка поверхности образца.	Студент
	10	Изучение результатов проведенной обработки	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Заключение	Научный руководитель, студент

4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.5.3 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.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$
















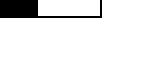
Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 10).

После заполнения таблицы 10 строим календарный план-график (табл. 11). 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 10 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожi}$, чел-дни									
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент	4	6	6	6	9	9
Лазерная обработка поверхности образца	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент	2	3	4	3	5	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 11- Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Ра-бо-т	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3											
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2		 									
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2		 									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2											
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3											
6	Изучение литературы по теме	Студент	15											
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	5					 						
8	Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали	Студент	6											
9	Лазерная обработка поверхности образца	Студент	3											
10	Изучение результатов	Студент	3											
11	Анализ результатов	Студ.-рук.	3								 			
12	Заключение	Студент	4											

 – студент;  – руководитель.

4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

4.6.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (6)$$

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

$N_{расxi}$ – 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 12- Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Итого								2852	2219,5	2135,5

4.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

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

Таблица 13-Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Оборудование для плазменной наплавки	1	-	-	1156	-	-	1329	-	-
2.	Лазерное оборудование	1	1	1	2000	2000	2000	2300	2300	2300
3	Оборудование для электронно-лучевой наплавки	-	1	-	-	1500	-	-	2250	-
4	Оборудование для электродуговой наплавки	-	-	1	-	-	20	-	-	30
Итого:								3629	4550	2330

4.6.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

ТЕМЫ

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 14.

Таблица 14- Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Изучение влияния лазерной обработки на поверхность детали	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Лазерная обработка поверхности образца	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Изучение результатов	Студент	2	3	3	0,8			1,8	2,7	2,7
11.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8
12.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8			2,7	2,7	2,7
Итого:									79,7	84,2	85,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ – основ ная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (8)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

4.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (9)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта

1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 15- Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

4.6.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum статеи) \cdot k_{нр}, \quad (10)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{накл} = 3745306,5 \cdot 0,16 = 599249,2$ руб.

4.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 16-Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НИИ	2852	2219,5	2135,5	Пункт 3.3.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	3629000	4550000	2330000	Пункт 3.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы.	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4
Накладные расходы	599249,2	747532,7	392182,64	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	4344555,7	5419612,6	2845459,64	Сумма ст. 1- 6

4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8; \quad I_{финр}^{исп2} = \frac{5419612,6}{5419612,6} = 1; \quad I_{финр}^{исп3} = \frac{2845459,64}{5419612,6} = 0,52.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (12)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 17).

Таблица 17- Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	5	5	4
2. Универсальность	0,2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости.	0,15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5	4
5. Ремонтпригодность	0,1	5	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5 ;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (13)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,8} = 5,625; I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,52} = 8,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную

эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп\ i}}{I_{исп\ max}} \quad (14)$$

Таблица 18- Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,625	4,5	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,64	0,51	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

Введение

При выполнении бакалаврской работы не большая часть времени проводилась в научно-исследовательской лаборатории 18-го корпуса. В этой лаборатории проводилась лазерная поверхностная обработка с помощью лазерной сварочной 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 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;
- Защита от шумов - заключение вентиляторов в защитный кожух и внутрь корпуса ЭВМ.

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:

- Применение средств индивидуальной защиты от воздействия лазерного излучения, защитные очки и маски со светофильтрами.
- Увеличения времени на отдых в один час работы.

5.1.3 Анализ освещения

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

Различают естественное и искусственное освещение. Естественное - обуславливается световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным светом неба, т. е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды. Величина такого освещения изменяется как в течение года, так и в течение суток. Изменения в течение суток зависят от географических координат, расположения других зданий, месторасположения объекта, времени суток, прозрачности воздуха, облачности и других характеристик окружающей среды.

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 %.

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 Анализ 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 19- 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

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

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.

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 так же 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.

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 Охрана окружающей среды

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 выбрасываются в мусорные ящики, в дальнейшем они утилизируются. Утилизацию люминесцентных ламп в лаборатории осуществляет специализированный персонал НИ 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.

5.5 Законодательное регулирование проектных решений

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

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 магистерской диссертации провели исследования влияния параметров режима импульсного лазерного воздействия на структуру и свойства покрытия на основе стали Р6М5.

В результате проделанных исследований выяснили, что на всех точках, полученных при лазерном воздействии на образец происходит формирование трех структурных участков – зоны оплавления, зоны закалки и зоны термического влияния, что способствует неравномерному распределению микротвердости на поверхности обработанного материала. Диаметр точек импульсного воздействия, измеренный до хорошо протравленного участка зоны термического влияния, с ростом пиковой мощности до 4,52 кВт монотонно увеличивается, при повышении мощности выше 4,52 заметно уменьшение диаметра пятна, что в значительной степени связано с большим углублением луча лазера в металл и увеличением доли испарения металла с поверхности. При использовании импульса 7 мс независимо от мощности лазерного луча существенного заглубления внутрь металла не происходит. Уменьшение длительности импульса при одновременном увеличении максимальной мощности излучения приводит к резкому уменьшению диаметра точки воздействия и росту глубины проплавления до 1396 мкм.

Средний уровень твердости обработанного ЛИ участка находится в пределах значения твердости стали Р6М5 после плазменной наплавки. Увеличение пиковой мощности лазерного излучения выше 4,05 кВт способствует повышению твердости обработанного участка на 10...15% по сравнению с твердостью стали Р6М5 в состоянии после наплавки. Режим с пиковой мощностью выше 4,05 кВт является наилучшим с точки зрения формирования структуры, изменения твердости и глубины воздействия лазера.

Обработка поверхности стали с помощью последовательного наложения импульсов ЛИ внахлест способствует зарождению и развитию трещин на участках воздействия лазером, при этом формируемые структуры не позволяют повысить твердость стали Р6М5 за счет периодического разупрочнения обрабатываемого материала в ЗТВ при перекрытии точек.

Подводя итог исследованию, можно сказать, что на сегодняшний день экономически не выгодно проводить лазерную поверхностную обработку инструментальных сталей типа Р6М5, это связано с дороговизной лазерного оборудования, а так же с полученными результатами исследований, в ходе которых выяснили что, лишь на режимах с высокой мощностью можно получить наилучшие показатели с точки зрения формирования структуры и изменения твердости, однако эти показатели не значительно отличаются от состояния после плазменной порошковой наплавки.

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 Белова С.А., Калашникова М.С., Постников В.С. Формирование структуры поверхностных слоев сталей при лазерном легировании // Вестник ПНИПУ. – 2010. – Т.12. - №2. – С. 93-105.
- 7 Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для вузов. 3-е изд. М. «Металлургия», 1983. 360с.
- 8 Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование.- Москва «Металлургия» 1992. – 423с.
- 9 Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение–М.: Машиностроение, 2008. – 406с.
- 10 Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А. Плазменная наплавка. – Киев: Екотехнология, 2007. – 292 с.
- 11 Глезман А.В. Лучевые методы обработки материалов [Электронный ресурс]. - 2009.- Режим доступа: [http:// www. xreferat.ru/76/606-1-luchevye-metody-obrabotki-materialov.html](http://www.xreferat.ru/76/606-1-luchevye-metody-obrabotki-materialov.html)
- 12 Гармилин Р.В. Поверхностная лазерная обработка [Электронный ресурс]. - 2007.- Режим доступа: [http:// www.bestreferat.ru/referat-93478.html](http://www.bestreferat.ru/referat-93478.html)

13 Горбатовский Д.В Лазерная технология - важнейшая отрасль современного естествознания [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.fos.ru/technic/13400.html>.

14 Е. И. Тескер, А. В. Пермякова, В. Ю. Тараненко Лазерные методы упрочнения деталей, работающих в условиях многофакторного воздействия // Волгоградский государственный технический университет. – 4с.

15 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.

16 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

17 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.

18 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.

19 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.

20 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

21 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.

22 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

23 Linjian Chaia, 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

24 Abdellah Laazizi, Bruno Courant, Fre´de´ric Jacquemin, Henri Andrzejewski. Applied multi-pulsed laser in surface treatment and numerical–experimental analysis. *Optics & Laser Technology* 43 (2011) 1257–1263

25 Eurico Assuncao, Stewart Williams. Comparison of continuous wave and pulsed wave laser welding effects. *Optics and Lasers in Engineering* 51 (2013) 674–680

26 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.

27 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

28 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

29 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.

30 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.

31 Zhou Xuefeng, Yin Xiaoyan, Jiang Jianqing, Zhu Wangl. Influence of rare earths on eutectic carbides in AISI M2 high speed steel // *Journal of rare earths*, 2012, Vol. 30, no. 10. - P. 1075.

32 Кузьменко А.П., Химухин С.Н., Кузьменко Н.А. Механизмы микроструктурирования при лазерной обработке // Вестник ТОГУ. – 2007. – Т.7. - №4. – С. 123-135.

33 Батаев В.А., Батаев А.А., Голковский М.Г. и др. Упрочнение боковых граней головок железных дорожных рельсов электронно-лучевой обработкой в воздушной среде // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. - №12. – С. 14-18.

34 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.

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

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

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

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

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

Приложение А

Обзор литературы на иностранном языке
Natur der Laserstrahlung.
Technologische Prozesse der Lasermaterialbearbeitung.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Силантьев Сергей Александрович		

Консультант кафедры оборудования и технологии сварочного производства:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Хайдарова Анна Александровна	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист кафедры иностраннных языков ИНК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Прохорец Елена Константиновна	К.П.Н.		

1 Natur der Laserstrahlung

Laser ist eine Quelle des monochromatischen kohärenten Lichtes, die eine hohe Richtwirkung des Lichtstrahls besitzt. Das Wort "Laser" stammt aus dem Englischen und bedeutet "Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlung". Das Hauptverfahren, das die Wirkung des Lasers bestimmt, ist die Emission von Strahlung. Es tritt auf, wenn ein Photon in Wechselwirkung mit einem angeregten Atom durch eine Zusammenwirkung von Anregungsenergie mit Energie, die von Atom verursacht wird, zusammenwirkt. Bei diesem Prozess entsteht ein Stromüberschuss und wird in Form eines neuen Photons mit der gleichen Energie, gleicher Polarisation und gleicher Ausbreitungsrichtung (sowie Primärphoton) emittiert. Die Folge dieses Prozesses ist die Anwesenheit von zwei absolut identischen Photonen. Bei einer weiteren Wechselwirkung von Photonen und angeregten Atome tritt die Ausbreitung von identischen Photonen, die sich in einer gleichen Richtung bewegen, auf. Das führt zur Entstehung von einem Lichtstrahl. Für Entstehung einer Lawine von identischen Photonen braucht man ein Umfeld, in dem die Zahl von angeregten Atome größer als die Zahl von unangeregten Atome sein würde, weil, wenn Photonen mit unangeregten Atomen zusammenwirken, passiert die Absorption von Photonen. Das ist ein Umfeld mit einer invertierten Besetzung von Energieniveaus. Zusätzlich zur stimulierten Strahlung von Photonen durch angeregte Atome kommt hier auch Prozess einer spontanen Emission von Photonen vor, bei dem sich angeregte Atome in einen unerregten Zustand bewegen, und das Verfahren, in dem die Absorption von Photonen passiert, wenn Atome aus dem angeregten Zustand in einen unangeregten Zustand übergehen. Diese Verfahren, in den Übergang der Atome in einen angeregten Zustand und zurück in einen unangeregten Zustand vorläuft, wurden im Jahre 1916 von Albert Einstein postuliert. Wenn die Anzahl der angeregten Atome groß genug ist, und somit es gegenläufige Energieniveaus gibt, dann löst das erste Photon, das unter dem Einfluss einer spontanen Strahlung gebildet wird, eine Lawine von identischen Photonen aus. Dabei wird spontane

Emission verstärkt. Bei der Entstehung einer sehr großen Anzahl von spontan emittierten Photonen kann auch eine große Anzahl von Lawinen entstehen. Jede Lawine ausbreitet sich in einer anderen Richtung. Das Ergebnis dieses Verfahrens ist eine große Menge von Lichtquanten. Aber es ist unmöglich, einen monochromatischen Richtstrahl zu bekommen, weil jede Lawine dank seinem einzelnen Basisphoton entsteht. Für Entstehung eines Laserstrahls mit hoher Monochromasie ist es notwendig, die Besetzungsinversion unter Verwendung von primären Photonen zu verwirklichen, die bereits gleiche Energie besitzen, die mit der Energie dieses Übergangs in einem Atom zusammenfällt. Nur in diesem Fall entsteht ein Lichtverstärker. Es gibt auch eine andere Möglichkeit einen Laserstrahl zu bekommen. Es wird mit Hilfe von Rückkopplungssystemen verwirklicht. Spontan geborene Photonen mit ihrer nichtsenkrechten Richtung zur Ebene des Spiegels werden eine Lawine von Photonen produzieren, die über die Grenzen ihres Umfelds hinausgehen. In diesem Fall erzeugen die Photonen eine Lawine, die im Umfeld vielmehr verstärkt wird, weil sie mehrfach von den Spiegeln reflektiert wird. Bei einer Wahl von richtigen Spiegel und Lichtdurchlass kann die Weitergabe sehr effektiv sein. So die „zueinander direkte und einer Längsachse des Umfelds mit einer seitwärts invertierten Besetzung von Energieniveaus relative“ Strahlung kann im Vergleich mit der Strahlung, die durch Spiegel produziert wird, unberücksichtigt sein. Dieses Schema wird als optischer Resonator bezeichnet und in fast allen bestehenden Laser verwendet [1].

Im Jahr 1960 baute T. Maiman den ersten Laser, wo die Rückkoppelung mit Hilfe des optischen Resonators verwirklicht wurde. Rubinkristalle aufgeregten Besetzungsinversion. Sie wurden mit einer Xenonlampe bestrahlt. Der Rubinkristall ist ein Al_2O_3 Aluminiumoxid, in dem es auch Chrom Ergänzungen gibt. Rubinkristalle nehmen etwa 15% der Energie der Lampe auf. Der Übergang von Ionen in angeregten Zustand tritt ein, wenn die Ionen von Chrom das Licht aufnehmen. Aufgrund der inneren Prozesse gehen Ionen von Chrom nicht direkt in den Grundzustand über, sondern in zwei Anregungsniveaus. In diesen Niveaus werden Ionen eingesammelt, und mit einem starken Lichtimpuls entsteht

invertierte Besetzung zwischen dem Grundzustand und den Zwischenniveaus der Ionen von Chrom. Die Enden des Rubinstabs werden mit reflektierenden Interferenzfilmen beschichtet und werden streng parallel zueinander gehalten. Wenn eine Besetzungsinversion auf den Niveaus der Ionen von Chrom im Rubinkristall entsteht, wird eine große Lawinenerhöhung von emittierten Photonen und die Erhöhung der Rückkoppelung im optischen Resonator, der durch die Spiegel auf den Enden des Rubinstabs gebildet wird, ausbreitet. Dies produziert einen roten schmalen Strahl. Die Laserimpulswiete ist 0,0001s. Dieser Rubin-Laser produziert Energie von etwa 1J. Mit Hilfe eines mechanischen Systems, das wie ein Drehspiegel wirkt, kann man einen der Spiegel im Moment der maximalen Besetzungsinversion richtig konfigurieren und damit maximale Verstärkung des aktiven Umfelds erreichen. Die Kapazität der induzierten Strahlung wird groß und die Besetzungsinversion wird in kurzer Zeit bei angeregter Strahlung reduziert. In diesem Modus des Resonators wird ein großer Impuls von Laserstrahlung ausgestrahlt. Weil die Laserimpulswiete auf vielhundertmal verkürzt wird, erhöht sich die Strahlungsleistung auch ebenmäßig. Die Impulsenergie bleibt gleich.

Laserstrahlung hat einige einzigartige Eigenschaften. Das Atom strahlt eine Spektrallinie, die bei einer angeregten Strahlung eine endliche Breite hat. Bei Lawinenerhöhung der Zahl von angeregten Photonen in einer invertierten Besetzung wird die Strahlungsintensität dieser Lawine im Zentrum der Spektrallinie des atomaren Übergangs größer. Aufgrund dieses Prozesses wird die Breite der Spektrallinie einer primären spontanen Strahlung abgebaut. In der Praxis ist es möglich, die relative Breite der Spektrallinie der Laserstrahlung zehn Millionen Mal kleiner als die Breite der schmalsten Linien spontanen Strahlung zu machen, die in der Natur beobachtet werden kann. Auch im Laser kann man Strahldivergenz kleiner als 0,00001rad erreichen. Einen eingerichteten schmalen Lichtstrahl kann aus einer beliebigen Quelle erhalten werden. Man muss nur auf dem Weg des Lichtflusses eine Reihe von Bildschirmen mit Löchern setzen, die sich auf gleicher Linie befinden. Man nimmt einen erhitzten Schwarzkörper und bekommt damit einen Lichtstrahl mit Hilfe von Blenden. Mit Prisma wird ein

Strahl mit einer Spektralbreite produziert. Das entspricht der Spektralbreite von Laserstrahlung. Mit bekannter Laserstrahlungsweite, ihrer Kapazität und Winkeldivergenz des Strahles ist es möglich die Temperatur des erhitzten Schwarzkörpers, die als Quelle des Lichtstrahls verwendet wurde, zu berechnen. Damit muss man die Formel von Max Plank (Das plancksche Strahlungsgesetz) nutzen. Als Ergebnis dieser Berechnung sollte die Schwarzkörpertemperatur mehr als zehn Millionen Grad sein. Besonderheit des Laserstrahls ist eine hohe Effektivtemperatur, die für Forscher große Horizonte und Möglichkeiten eröffnet, die ohne Nutzung von Laser unerreichbar sind [1].

2 Technologische Prozesse der Lasermaterialbearbeitung

Die Zahl der Anwendungsgebiete von Lasern und Laseranlagen ist größer als die Zahl ihrer Entwürfe und Konstruktionen. Es gibt etwa zweihundert Anwendungsgebiete von Lasern in der Praxis. Das größte Anwendungsgebiet von Lasern ist derzeit die Lasermaterialbearbeitung. Sie basiert sich auf der thermischen Wirkung von Laserstrahlung. Mit der Erarbeitung im Jahr 1970 von Gas-Laser mit kontinuierlicher Wirkung und hoher Kapazität entstanden große Möglichkeiten bei der Nutzung der Lasertechnik. Dank Lasern verbreitete sich der Anwendungsbereich des Laserstrahls für Lasermaterialbearbeitung. Laser werden in solchen Branchen wie Mikroelektronik, Elektrotechnik, Metallurgie, Maschinenbau verwendet. Dieser Fortschritt ist dank einzigartigen Eigenschaften von Laserstrahlung möglich geworden. Eine dieser einzigartigen Eigenschaften ist hohe Leistungsdichte, die einen deutlichen Vorrang vor anderen hochkonzentrierten Energiequellen hat. Es wird die Produktivität der Materialbearbeitung erhöhen, was qualitativ neue Lasermaterialbearbeitungsergebnisse zu erzielen hilft. Deswegen hat die Laserstrahlung als Wärmequelle bei der Materialienbearbeitung viele ähnliche Eigenschaften mit anderen Energiequellen, sowie ihre eigenen einzigartigen Eigenschaften [2].

Erstens, Lokalität und hohe Konzentration von Energie der lokalen Verarbeitung des Materials fördern nur eine lokale Materialbearbeitung, ohne die ganze Fläche des Materials zu wärmen. Als Folge gibt es keine Verletzungen von Struktur und Eigenschaften des Materials. Dies führt zu keiner Beschädigung von Komponenten der Konstruktion. Dadurch werden technologische und wirtschaftliche Vorteile erzielt. Auch eine ausreichend hohe Konzentration von Energie bei Materialbearbeitung ermöglicht ein schnelles Heizen und Kühlen des Materials bei hoher Intensivität und niedriger Bestrahlungszeit. Dies eröffnet die Möglichkeit, einzigartige Struktur und Eigenschaften der Oberfläche des verarbeiteten Materials zu erhalten.

Zweitens, garantiert hohe Verarbeitungseigenschaften der Laserstrahlung eine leichte Automatisierung des Laserbearbeitungsprozesses, sowie auch eine Reihe von Möglichkeiten: die Materialverarbeitungsparameter in einem ausreichend weiten Bereich von Bedingungen zu regulieren, der Verarbeitung ohne Vakuum zu verwirklichen, die Strahlung zu transportieren usw. Es geht hier auch über Mangel an mechanischer Einwirkung auf das verarbeitete Material und keine schädlichen Abfälle beim Arbeitsprozess.

In dieser Folge ist es möglich, eine breite Palette von technischen Methoden und Materialbearbeitungsprozesse (Aufschweißung, Schneiden, Markieren, Härtung) zu erhalten, die durch andere Verfahren nicht zu verwirklichen sind.

Die rasante Entwicklung von Lasieranlagen ist ein wichtiger Bereich des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, sowie ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung von verschiedenen Branchen der Industrie. Im Moment wird schon eine große Reihe von Forschungen über die Verwendung des Laserstrahls in der Materialbearbeitung durchgeführt und werden die Hauptrichtungen der Entwicklung bestimmt. Dank diesen Forschungen werden große Mengen von Materialien in Bezug auf Arbeit mit Lasern erhalten.

Arten von technologischen Prozesse der Lasermaterialbearbeitung:

Formschnitt von Holzmaterialien. Diese Art von Materialbearbeitung wird breit in vielen Unternehmen bei Herstellung von Sperrholz, Rüster, Waffen, Embleme, Zierleisten, Küchewaren und Möbel, Gesimse, Kunstproduktion und Souvenirs, Kisten, Spanplatten und Einschnitt aus Sägeholz eingesetzt.

Metallschneiden. Metallschneiden wird mit einem Laser bei Werkstoffdicke bis 6mm von einer komplexen Kontur durchgeführt. Dieser Prozess wird am häufigsten bei allen Verfahren der Lasermaterialbearbeitung benutzt. Solche Art der Lasermaterialbearbeitung wird zum Schneiden solcher Teile wie Platten, Rüster, Ziergitter, Instrumententafeln, Türe, Dichtungen oder Kreissägen verwendet. Das Laserschneiden hat einen guten Ruf in Bezug auf Arbeit mit neuer Produktion (Formschnitt) bekommen, weil die Laserausrüstung hohe Flexibilität hat. Das verkürzt wesentlich Fertigstellungsfristen, deswegen ist diese Art von Laserschneiden sehr sparsam in wirtschaftlichem Sinne als andere Arten wie Drahtschneiden und Wasserstrahlschneiden. Relativ schnell im Moment entwickelt sich Laserschneiden von Raumproduktion mit Hilfe von Handhabroboter. Bei diesem Verfahren des Schneidens wird Laserstrahl durch einen flexiblen optoelektronischen Strahlkanal auf Behandlungsbereich übertragen.

Laserschneiden von Aluminiumlegierungen hat einige Besonderheiten und unterscheidet sich vom Schneiden anderer Metalle. Das ist möglich aufgrund einer Reihe von optischen und wärmephysikalischen Eigenschaften von Aluminium, das eine hohe Wärmeleitfähigkeit und eine geringe Absorptionsfähigkeit des Laserstrahls hat. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen sowie auch Legierungen werden in der Regel leichter mit einem Laser geschnitten, als Aluminiumlegierungen. Der Prozess des Laserschneidens von Aluminiumlegierungen ist nicht immer stabil, deswegen wird die Geschwindigkeit des Schneidens trotz realen Berechnungen oft abgesenkt, um ein gutes Schneiden mit hoher Qualität von Schnittgüte zu garantieren. Geringe Strahlungsabsorption von industriellen Laser ist ein Problem auf dem Weg zur Leistungssteigerung des Schneidens von Aluminiumlegierungen mit einem Laserstrahl. Bei einer

Wellenlänge von etwa 10,6 Mikrometer gibt es in diesem Fall einen niedrigen Absorptionskoeffizient, was heißt, dass die Strahlung von meistverbreiteten in industriellen Bereich Laser und eine hohe Wärmeleitfähigkeit einen Leistungsschwellenwert von etwa 1000 Watt Laserstrahlung für Gas-Laser vorgeben. Eine Voraussetzung für Laserschneiden mit Gas-Lasern ist die Verwendung von Arbeitsgas bei einem Druck von mehr als 10atm. Mit Laserschneiden von Aluminiumlegierungen werden Festkörperlaser mit einer Wellenlänge von 1,06 Mikrometer bevorzugt. Die Absorptionskapazität von Aluminiumlegierungen bei einer Wellenlänge von CO₂-Emission ist viel niedriger als die Absorptionskapazität von Festkörperlaser, deswegen wird die Energie des Laserstrahls bei Nutzung von Festkörperlaser mehrfach effizienter verwendet. Der Laserstrahl von Festkörperlaser fokussiert sich leicht in einem kleineren Strahllichtpunkt, was die Leistungsdichte der Laserstrahlung auf Material erhöht. Z.B., die Ergebnisse vom Aluminiumlegierungsschneiden mit dem Festkörperlaser der Leistung von 500 W korrelieren mit dem Schneiden mit dem CO₂-Laser der Leistung 1500 W. Beim Aluminiumlegierungsschneiden mit dem Laser bekommt die Stirnfläche des Schnitts die aufgerauhte porige Struktur mit dem Grat, der sehr einfach von der Unterkante abgebaut werden kann. Je dicker ist das Aluminiumblatt, desto schlechter ist die Flächenqualität [2].

Schneiden der schwer bearbeiteten Metalle und des Nichtmetalls.

Praktisch kann der Laserstrahl leistungsfähig beim Zuschneiden der Nichtmetallstoffe benutzt werden: Fluorkunststoff mit der Dicke von 30 mm und Acrylglas mit der Dicke von 50 mm, Polyvinylchlorid, Hartpapier, Glashartgewebe, Polyethylen mit der Dicke von 2 mm, Pappe, Textilteppiche, Asbestzement, Keramik, Basaltstoffe, extra Stoffe für beschusshemmende Weste, Leder, Vitrokeram. Praktisch werden auch Verfahren für den Schnitt des warm zerspalteten Glas ausgearbeitet und verwendet.

Schweißen. Durch das Laserschweißen können die Schweißverbindungen aus den Legierungsstählen und auch aus den Kohlenstoffstählen der Dicke von weniger als 10 mm ganz einfach gemacht werden. Die Vorteile des

Laserschweißens sind beim Schweißen des Werkzeugs der Dicke von 1 mm ausgeführt: Gehäuse, Elektrokontakte, Akkus, Wellrohre, Transformatorkerne, Umschalter. Das Laserschweißen ist auch für Schmuckwaren hoher Qualität aus Platin und Gold (Ketten, Ringe) ausgelegt.

Beschriftung. Das technische Verfahren ist für die Herstellung der Schilder, Souvenirs wie plastische Bilderinnen der Glaswaren, beim Bezeichnen der Waren und Werkzeuge (Werkzeuglager) und auch Skalen der Messgeräte weit verwendet. Die Beschriftung der Details von den Geräten ist durch hohe Leistung und Wirtschaftseffizienz gekennzeichnet. Dekorative Beschriftung beträgt auch eine große Menge der Arbeit, dazu gehört die Beschriftung der Kunstbilder auf dem Leder, Glas, Möbel u.a.

Lochen. Durch das Verfahren der Metallbearbeitung mit der Laserstrahlung werden die Löcher des Durchmessers von 0,2 bis 1,2 mm gemacht, die Stoffdicke muss nicht mehr als 3 mm sein. Bei den Verhältnissen von dem Durchmesser der Löcher zu der Metalldicke 1:16 ist das Laserlochen für die Stoffbearbeitung wegen der Wirtschaftlichkeit sehr gut geeignet. Das Verfahren des Lochens wird für die Herstellung der Düsen, Siebe, Schmucksachen, Filter, Nagelohre verwendet. In der modernen Produktion das Laserlochen ist für die Fertigung der Löcher in den Lochplatten verwendet, die Leistung beträgt dabei ungefähr 700 Tausend Löcher pro Schicht.

Laserhärtung. Die Oberfläche der Metalle und Legierungen kann durch die Laserbearbeitung für die Tiefe von 1,5 mm gehärtet werden, wenn die Streifenweite von 2 bis 15 mm beträgt. Dadurch werden meistens die Werkzeuge mit der hohen Abreibung hergestellt: Motoren, Trommel, Führungsschienen, Lagerringe, Schneidwerkzeuge, Walzen, Schieberventile. Dabei wird die Werkzeughärtung von 2 bis 5 Male erhöht.

Auftragsschweißen und Legierung. Bei der solchen Art der Bearbeitung sind die Oberschichten durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet: Hitzebeständigkeit, Abriebbeständigkeit. Das Laserauftragsschweißen wird für die Renovierung der schlecht beschädigten Teile der Wagen und Mechanismen

verwendet: Zahnräder, Ventile, Kurbelwellen, Nockenwellen. Dieses Verfahren ist durch minimale Deformierungen gekennzeichnet, die zu der hohen Abnutzung führen.

Mikrobearbeitung. In der modernen Produktion sind die Prozesse hoch automatisiert. Die folgenden Prozesse können auf dem neuen Niveau verwendet werden: Auftragung der Blastfolie, On-Chip-Trimmen, Kristallzüchtung und Kristallzonenreinigung, Glühen der implantierten Beschichte auf der Oberfläche der Halbleiter. Die meisten Vorteile dieses Verfahrens sind noch nicht richtig untersucht.

Stereolithografie. Das Verfahren realisiert sich in der schichtweisen Herstellung der Kopien der Werkstücke aus den Computergestalten, die mit den 3D-Grafik-Paketen gebildet werden. Das Verfahren besteht aus einigen Schritten: bei der Teilung des Werkstücks ist in Querschnitten wird seine digitale Computergestalt ausgeführt, erzeugen sequenziellen Wiedergabe von Querschnitten von Teilen in der Oberfläche der Polymerisation, bestehend aus einem flüssigen photopolymerisierbaren Zusammensetzung mit einem fokussierten Laserstrahl, der auf der Oberfläche bewegt. Jede dieser polymerisierbaren Schicht hat eine sehr komplizierte Konfiguration; wenn es ein einheitliches Layout ist, Produkte Polymerschichten gebildet. Da die Abmessungen der fokussierten Laserstrahlung nur etwa mehrere zehn Mikrometer, und seine Geschwindigkeit kann bis zu 1m/s sein, bildet die Einrichtung des Geschosses Präzision Computer Reproduktionstechnik eine Funktion. Aber es ist logisch, dass es notwendig ist, um dieses Problem zu vervollständigen, diese zu implementieren, eine wichtige Stufe, die in der Tatsache besteht, dass es eine Umwandlung der Polymerobjekte in den Einzelheiten von Mechanismen und Maschinen, und viele andere Produkte, die bestimmte Anforderungen erfüllen muss. Prototypensemantik ist der letzte Zyklus, zum Beispiel kann das Gießverfahren sein.

Die Verarbeitung CO₂-Laser und Faserlaser Materialien. Die weit verbreitete Verwendung von Glasfaser-Technologie bei der Herstellung von Laser und Lasersysteme macht Laserschneidanlagen mehr effizient und kostengünstig.

Industrie- und Forschungslabors für die Lasermaterialbearbeitung und andere Verbraucher zeigen jedes Jahr ein zunehmendes Interesse für Lasergeräte, die Glasfaser-Technologie verwenden. Diese Techniken bieten erhebliche Vorteile in einigen Anwendungen als zu CO₂-Lasern. Faserlaser, das im Laserschneiden des Stahlblechs weithin verwendet wird, ist nicht mehr als 3mm dick und schneidet viel effizienter als CO₂-Laser, die gleiche Leistung haben, aber eine Dicke deutlich größer als 3 mm Schnittgeschwindigkeit. Faserlaser kann effizienter Nicht-Eisen-Metalle schneiden, weil der Laserstrahl von CO₂-Laser bei solchen Metallen besser reflektiert wird. Damit kann man solche Metalle wie Gold, Kupfer, Aluminium, Messing, Silber schneiden. Aber Faserlaser kann zum Schneiden von Gewebe, Holz und Kunststoff nicht verwendet werden. Mit diesen Lasern schneiden nicht auch Metalle, die mit Kunststoff beschichtet sind, aus Angst, dass die Beschichtung verdunstet oder beschädigt werden kann. Wartungskosten für Faserlaser im Vergleich zu CO₂-Laser sind viel weniger, weil die Gasturbine des Resonators und optischer Mechanismus alle 5 Jahre geändert werden. Sie werden aufgrund der Tatsache benutzt, weil Faserlaser und Spiegelturbinen billige Unterhaltung erfordern. Obwohl Faserlaser wesentliche Vorteile im Vergleich mit CO₂-Laser haben, werden sie aber in der näheren Zukunft den Markt den Lasern nicht okkupieren.

Entwicklung von fortschrittlichen Technologien. Zu den jüngsten Verfahren der Entwicklung von fortschrittlichen Technologien wird eine führende Stelle durch ein kombiniertes Behandlungsverfahren belegt, in dem die Wirkung des Laserstrahls mit anderen technologischen Prozessen kombiniert wird. Zum Beispiel kann die Verwendung von Laserstrahlung mit Plasmaschweißen, Lichtbogenschweißen oder Gasbrenner die Effizienz in den Belichtungszeiten erhöhen, oder, mit anderen Worten, wird die Dicke des Schweißens, Schneidens oder Abschreckens erhöhen. Mit Hilfe eines Laserstrahls ermöglicht die mechanische Bearbeitung von Metallen Produktivität zu erhöhen und damit die Qualität der Materialien und Verarbeitungsleistung erheblich zu verbessern. Mit Hilfe dieses technischen Prozesses als plastische Verformung von Metallen und

Legierungen, vor oder nach dem Härten, wird eine neue Laserstruktur und die Eigenschaften der behandelten Oberfläche bereitgestellt. Ziemlich schnell entwickeln sich Laserbearbeitungsverfahren von dünnen Blechen und Legierungen, die als Folge der gerichteten Verformung dreidimensionale Strukturen verwendet werden. Von großem Interesse sind Prozesse, die auf die Schaffung von chemischen Reaktionen auf der Oberfläche von Metalle und Legierungen basieren, beispielsweise synthetische Carbide oder Nitride von Metalllegierungen und Reduktionsreaktionen. Laserstrahlung reinigt erfolgreich Kunstwerke von Verschmutzung, sowie Oberflächen von Metallen und Legierungen von Lackierungen. Es gibt auch Projekte zum Einsatz von Laser für Gesteinszerfall beim Bohren oder Eisaufbrechen auf Eisbrecherbahn [2].

3 Materialienbearbeitung durch Laserstrahlung

Laserstrahlung hat bestimmte Eigenschaften, die auch alle anderen Wärmequellen haben. Aber Laserstrahl hat eine Reihe von Vorteilen und Merkmalen, die ihn von anderen Arten der Wärme unterscheiden:

- Eine hohe Konzentration von Energie, die ein Laserstrahl hat, ermöglicht ein schnelles Heizen und Kühlen des Materials bei hoher Intensivität und niedriger Bestrahlungszeit. Aufgrund dieser Bearbeitung bekommt die Oberfläche bekommt eine besondere Struktur und die Eigenschaften.

- Möglichkeit der Bearbeitung mit Laserstrahlung in Luft zu verwirklichen, Möglichkeit die Prozesse zu automatisieren, keine schädliche Abfälle bei Arbeit mit Laserstrahl bestimmen einen hohen technischen Wert von Lasertechnik.

- Möglichkeit eine Vielzahl von Laserbearbeitungsparameter von Oberflächenschichtmaterialien einzustellen, wodurch absichtlich gebildete Oberflächenschichtstruktur, ihre physikalischen und mechanischen Eigenschaften, Unebenheit, sowie geometrische Abmessungen von Teilen, die beim Laser bearbeitet werden;

- Lokalität und hohe Konzentration von Energie der lokalen Verarbeitung des Materials fördern nur eine lokale Materialbearbeitung, ohne die ganze Fläche des Materials zu wärmen. Als Folge gibt es keine Verletzungen von Struktur und Eigenschaften des Materials.

Bei Laserhärtung unter Verwendung von Lasererwärmung des Metalls wird eine austenitische Struktur gebildet, die beim Abkühlen in Martensit umgewandelt wird. Keine Haltung an Belichtung bei konstanter Temperatur ist eine Eigenschaft, die bei der Durchführung von volumetrischer Wärmebehandlung erforderlich ist. Wenn sie seinen Maximalwert einer schnellen Abkühlung aufgrund der Entladung einer großen Wärmemenge in das Innere des Metalls erreicht, ist die thermische Energie viel größer als die nötige Energie mit einer Endgeschwindigkeit, die für Formveränderung von Kristallgitter gebraucht wird. Dann ist die Transformation von Perlit in Austenit geht nicht isotherm über, sondern in einem Temperaturbereich $A_{c1}^{nach} \dots A_{c1}^{kon}$ (Bild №1).

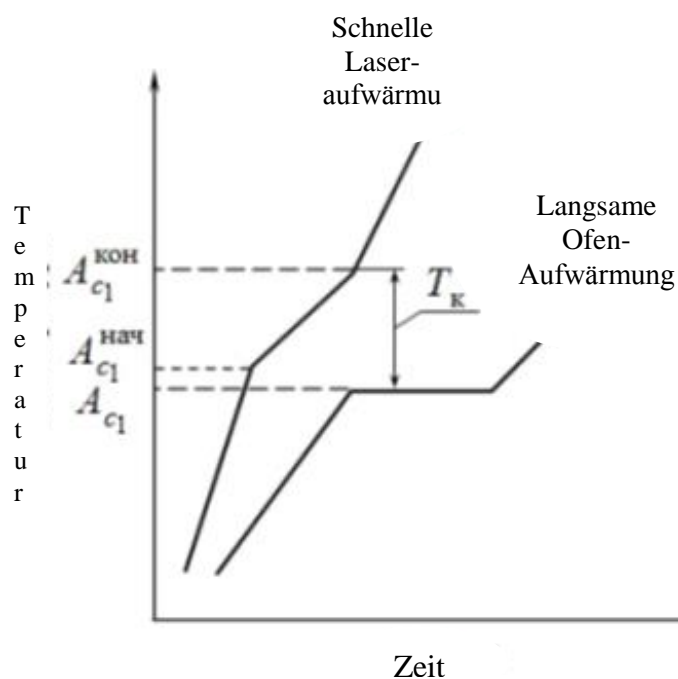


Bild 1 - Schematische Darstellung der Verschiebung von Haltepunkten bei Laserbehandlung.

In diesem Fall verschiebt sich das Ende der austenitischen Transformation auf die höchsten Temperaturen. Hohe Metallerwärmungsrate stellt sicher, dass die Diffusionsprozesse, die bei der Umstrukturierung des kubisch raumzentrierten

Gitters von überschüssigem Ferrit in der kubisch-flächenzentrierten Gitter des Austenits auftreten wird, haben wahrscheinlich keine Zeit auf dem GS Liniendiagramm zu stoppen "Eisen-Kohlenstoff." In diesem Fall gibt es eine Verschiebung von A_{c3} Punkte zu den höchsten Temperaturen.

Dann gibt es eine teilweise oder vollständige Härtung des Materials. Das bildet aktive Schichten durch große und tiefstrukturelle Heterogenität, für die eine homogene Struktur von Martensit auf seiner Oberfläche gebildet wird, die durch Abkühlen aus der Region einer homogenen Austenit-Struktur erhalten werden, bestehend aus einem Bereich des inhomogenen Austenit, der während des Abkühlens näher an dem Grundmetall gebildet wird. Weil es in der Zone gleichzeitig mit Martensit geht, gibt es hier Elemente der ursprünglichen Struktur, wie Perlit und Ferrit. Die dritte Schicht besteht aus einer Übergangszone mit einer inhomogenen Struktur, wo die Schicht durch Erhitzen des Metalls unterhalb A_{c1} Punkt gebildet wird. Die zweiten und dritten Schichten zusammen bilden eine Wärmeinflusszone [3].

Diese strukturellen Transformationen bilden einen Strukturzustand. Das ermöglicht die Beständigkeit gegen Metallabrieb mit den optimalen Eigenschaften zu erhöhen. Aber damit erhöhte und erreichte Lebensdauer des Metalls führt nicht immer zu einer Erhöhung der Kontaktermüdungsfestigkeit und somit Haltbarkeit. Das passiert aufgrund der Tatsache, dass die Mechanismen des Einflusses von Laserhärten auf Metallkontaktverschleißbeständigkeit und Ermüdungsfestigkeit große Unterschiede haben. Strukturelle Heterogenität von Metall nach Laserbearbeitung führt dazu, dass die Kontaktermüdungsgrenze der Veränderung nicht nur die Dicke, sondern auch die Breite der gehärteten Streife aushärtet wird. Unter zyklischer Belastung der Kontaktschicht des Lasers erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Bildung von sowohl Oberflächen- und Tiefenkontaktschäden. Aus der Analyse der zugrundeliegenden Bedingungen für die Bildung der Schicht Kontaktschäden durch Laser versteht man, dass die größte Gefahr in Bezug auf die Tiefe des Auftretens eines Ermüdungsbruchs vom Laser gehärteten Materials in Grenzschicht, Übergangszone oder Kernmaterial

dargestellt wird. Außerdem stellen eine Gefahr für Materialzonen die Bereiche zwischen den Laserwegen oder ihrer Überlappung bei einer kontinuierlichen Oberflächenbehandlung dar.

Strukturelle und Phasenänderungen in den Oberflächenschichten des Metalls ermöglichen, die grundlegenden Anforderungen an die Energieeffizienz von LEE zu formulieren und optimale Verfahren der Laserbelichtung für Schmelzen oder Veränderung von Struktur des Lasers zu bestimmen.

Aufgrund der unzureichenden Menge an Informationen über die Auswirkungen von gepulster Laserstrahlung auf die Oberfläche von Werkzeugstahl R6M5, der in großem Umfang als Verstärkungsbeschichtungsteile verwendet wird, ist das Ziel dieser Arbeit die Forschung von Einfluss der Parameter der gepulsten Laserstrahlung auf die Struktur und die Eigenschaften der Beschichtungen auf Basis von Stahl R6M5 zu untersuchen.

Liste der verwendeten Quellen

- 1 Gorbatovsky D.V. Lasertechnik - ein wichtiger Zweig der modernen Wissenschaft [electronic resource]. - Zugriffsmodus : [http: // www.fos.ru/technic/13400.html](http://www.fos.ru/technic/13400.html)
- 2 Garmilin R. V. Oberflächenlaserbehandlung [electronic resource]. - 2007.- Zugang: [http: // www.bestreferat.ru/referat-93478.html](http://www.bestreferat.ru/referat-93478.html)
- 3 E. I. Tesker, A. V. Permyakov, V. Y. Taranenko Laser Methoden der Härtung von Teilen, unter den Bedingungen der Multi-Faktor-Wirkung arbeiten // Volgograd State Technical University. - 4c.