

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических занятий по дисциплине
«ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
для студентов направления подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
2. Описание практических занятий	5
2.1 Практическое занятие № 1. Основные конструктивные элементы лазеров.....	5
2.2 Практическое занятие № 2. Назначение режимов лазерной термической обработки	7
2.3 Практическое занятие № 3. Выбор режимов лазерного легирования металлов и сплавов.....	10
2.4 Практическое занятие № 4. Определение изменения дефектности структуры после объемного импульсного лазерного упрочнения	13
2.5 Практическое занятие № 5. Экспериментальная оценка результатов лазерного воздействия	16
2.6 Практическое занятие № 6. Выбор режимов объемного импульсного лазерного упрочнения.....	18
2.7 Практическое занятие № 7. Выбор режимов импульсной лазерной обработки	21
2.8 Практическое занятие № 8. Назначение режимов лазерной сварки.....	24
2.9 Практическое занятие № 9. Назначение режимов получения отверстий лазерной обработкой.....	28
2.10 Практическое занятие № 10. Выбор режимов лазерной резки материалов	31
2.11 Практическое занятие № 11. Исследования изменений размеров блоков мозаики материала после ОИЛУ	34
2.12 Практическое занятие № 12. Исследования изменений микроискажений кристаллической решетки после ОИЛУ	41
2.13 Практическое занятие № 13. Исследования изменений микроискажений кристаллической решетки после ОИЛУ	45
2.14 Практическое занятие № 14. Построение графиков показателей надежности работы лазера	51
2.15 Практическое занятие № 15. Определения вероятности безотказной работы лазера расчетно-аналитическим методом	60
2.16 Практическое занятие № 16. Определения статистических функций распределения отказов лазеров.....	64
2.17 Практическое занятие № 17. Определение теоретической зависимости распределения результатов упрочнения методом наименьших квадратов	68
2.18 Практическое занятие № 18. Разработка управляющей программы для автоматического управления лазерной резкой	73

Введение

Лазерной технологии обработки материалов нет еще и 50 лет. Область применения лазеров в производстве постепенно расширилась от микроэлектроники и часовой промышленности до таких материалоемких отраслей, как машиностроение. Сегодня методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов, по сравнению с которыми они имеют как преимущества, так и недостатки.

Основные преимущества лазерных технологий по сравнению с классическими:

- возможность вести технологические процессы в любых условиях: на воздухе, в вакууме, в защитной или окислительной среде;
- малые размеры зоны термического воздействия излучения, сводящие к минимуму коробления и деформации обрабатываемых изделий;
- возможность прецизионного, дистанционного управления технологическим процессом путем управления с помощью оптико-электронных средств пространственными, временными и энергетическими характеристиками излучения;
- при необходимости увеличения мощности можно складывать пучки нескольких лазеров;
- возможность транспортировки излучения на расстояния и подвода его с помощью специальных оптических систем в труднодоступные места, что позволяет производить обработку в тех случаях, когда другие методы применить невозможно;
- возможность обработки материалов с различными теплофизическими и механическими свойствами;
- возможность выбора длины волны излучения лазера, что определяет характер его взаимодействия с материалами;
- высокие качество операций и производительность

технологического процесса;

- большие скорости обработки и легкость транспортировки излучения позволяют использовать одну лазерную установку на несколько рабочих мест.

- возможность получать малые размеры и сложные формы

В качестве основных недостатков лазерных технологий можно отметить следующие:

- относительно высокая стоимость оборудования;
- низкий КПД;
- разнообразие режимов обработки;
- сложность и неполная изученность процессов, сопутствующих лазерной обработке.

Тем не менее, результаты многолетнего применения лазерных технологий в промышленности очевидны, а их перспективность не вызывает сомнений.

В результате выполнения практических работ происходит освоении компетенций и индикаторов:

1. ПК-2. Способен обеспечивать технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней сложности: ИД-1_{ПК-2} Анализирует технологичность конструкции деталей машиностроения средней сложности.

2. ПК-7. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы: ИД-1_{ПК-7} Обработывает и анализирует научно-техническую информацию и результаты исследований.

3. ПК-8 Способен использовать методы искусственного интеллекта и машинного обучения для решения прикладных задач предметной области: ИД-1_{ПК-8} Анализирует технологии и программные средства для решения прикладных задач предметной области.

2. Описание практических занятий

2.1 Практическое занятие № 1. Основные конструктивные элементы лазеров

1. Цель работы

Изучить физические процессы, лежащие в основе работы лазеров.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного (индуцированного) излучения.

2. Студент должен знать, что согласно законам квантовой механики – внутренняя энергия частицы может иметь определенный дискретный ряд значений $E_0, E_1, \dots, E_n$, называемый энергетическими уровнями.

3. Студент должен знать, что частота перехода частиц с одного уровня на другой определяется соотношением:

$$\nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h}, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка;

E_m и E_n – конечный и начальный энергетические уровни соответственно.

4. Студент должен знать основные принципы действия лазеров:

1. Вокруг в природе – спонтанные переходы.
2. Под действием электромагнитного поля – вынужденные переходы.
3. Разные вещества обладают различной способностью возбуждаться.
4. В лазерах используют активные среды.

При очень высокой мощности внешнего источника все вещества способны переходить в возбужденное состояние (радиоактивное заражение местности после ядерного взрыва).

Число частиц на возбужденных уровнях больше. Поэтому больше число индуцированных переходов. Такое состояние называют инверсией. Процесс получения инверсии называется накачкой.

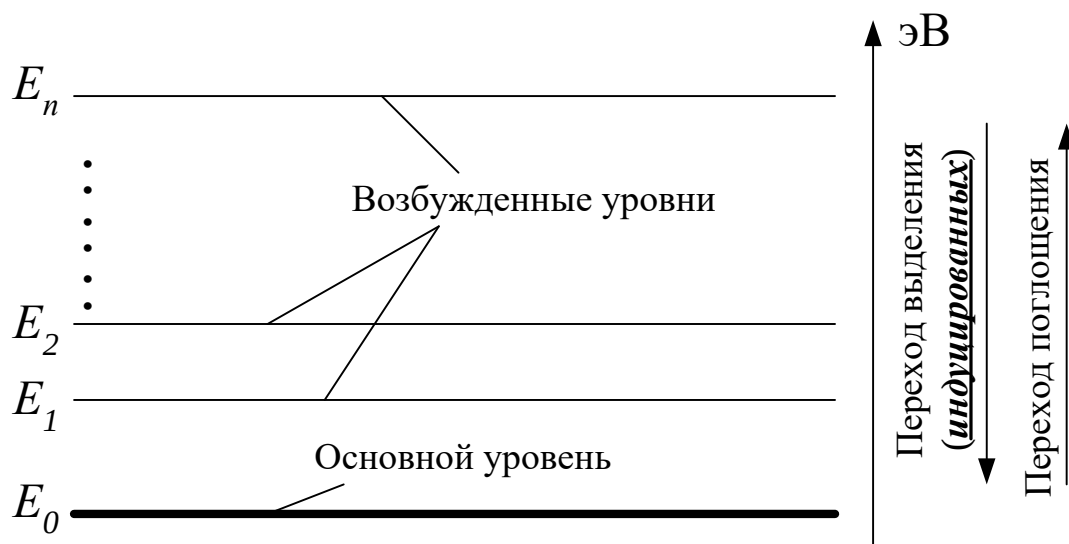


Рисунок 2.1 – Схема принципа действия лазеров

5. Вопросы и задания

1. Что является физической основой работы лазера?
2. Энергетические уровни.
3. Каким соотношением определяется частота перехода частиц с одного уровня на другой?
4. Основные принципы действия лазеров.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.2 Практическое занятие № 2. Назначение режимов лазерной термической обработки

1. Цель работы

Целью работы является изучение основ лазерной термической закалки и приобретение навыков по назначению ее режимов.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;

- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что поверхностная лазерная закалка или импульсная лазерная обработка производится путем воздействия луча лазера на участок поверхности упрочняемого изделия. В результате этого за счет поглощения энергии лазерного облучения поверхностными слоями изделия происходит его быстрый нагрев (температура поверхности возрастает со скоростью до 10^4 град/с). После прохождения лазерного луча нагретый участок быстро охлаждается (со скоростью до $5 \cdot 10^3 - 10^4$ град/с), что приводит к фазовым превращениям в материале. Таким образом, например, поверхностная лазерная закалка или импульсная лазерная обработка стали и чугуна заключается в их нагреве до температур выше критических (A_{c1} , A_{c3}) и образованию мартенситных структур за счет высокой скорости охлаждения.

2. Студент должен знать, что микротвердость материалов после поверхностной лазерной закалки или импульсной лазерной обработки гораздо выше, чем после использования других методов упрочнения. Так для армко-железа после упрочнения значение микротвердости достигает 3500 –

4500 МПа против микротвердости исходной структуры 1000 МПа, что объясняется образованием малоуглеродистого мартенсита, а также фазовым наклепом и пластическим деформированием вследствие термических напряжений.

3. Студент должен знать, что высокая твердость материалов на основе железа после поверхностной лазерной закалки или импульсной лазерной обработки объясняется рядом причин:

1. Значительной степенью пересыщения α – твердого раствора атомами примесей внедрения вследствие высоких скоростей охлаждения.

2. Повышенной плотностью дефектов кристаллического строения, образующихся вновь и частично наследуемых от исходной структуры.

3. Мелкодисперсным строением мартенсита.

4. Студент должен знать, что при поверхностной лазерной закалке или импульсной лазерной обработке очень важно выбрать оптимальные режимы во избежание, например, газовой пористости упрочненной зоны, появления шлаковых слоев и т. п. При упрочнении твердых сплавов наблюдается наличие сетки трещин на поверхности зоны облучения, под которой находится упрочненный слой. Механическое удаление дефектного слоя приводит к повышению стоимости упрочнения. Для предупреждения появления трещин в процессе лазерной закалки или импульсной лазерной обработки используют сплавы с повышенным содержанием связующей фазы, что не всегда возможно, или проводят упрочнение с предварительным нагревом.

3. Вопросы и задания

1. Основы поверхностной лазерной закалки и импульсной лазерной обработки.

2. Изменение микротвердости после поверхностной лазерной закалки и импульсной лазерной обработки.

3. Причины высокой твердости материалов на основе железа после поверхностной лазерной закалки или импульсной лазерной обработки.

4. Дефекты упрочненных материалов при неправильном назначении режимов поверхностной лазерной закалки или импульсной лазерной обработки.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.3 Практическое занятие № 3. Выбор режимов лазерного легирования металлов и сплавов

1. Цель работы

Изучить основы лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;

- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что лазерное легирование представляет собой насыщение поверхностного слоя материала легирующими элементами на глубину большую конечной толщины легирующего слоя с целью повышения его прочности, твердости, износостойкости, коррозионностойкости и других свойств. Лазерное легирование заключается в нанесении на поверхность материала обмазок или паст с последующим оплавлением поверхности непрерывным или импульсным лазерным излучением. Реже лазерное легирование проводят в жидкой или газовой среде.

2. Студент должен знать, что к основным видам лазерного легирования относятся: цементация, азотирование, силицирование, борирование, хромирование и др. Большую перспективу представляет лазерное легирование сложными композициями. Так, например, лазерное легирование сталей У10, 45, ШХ15 и титановых сплавов соединением MoS₂ повышает их износостойкость в 2,0 – 5,0 раз.

3. Студент должен знать, что применяется комбинированное поверхностное лазерное легирование. Например:

- лазерное легирование в сочетании с ультразвуковой обработкой, что позволило для углеродистых инструментальных сталей увеличить глубину

упрочненного слоя на 15 – 25 %, повысить твердость и износостойкость на 30 – 40 %;

- лазерное легирование титановых сплавов элементами внедрения (азот, углерод) или замещения (никель, кремний);

- исследования влияния газовой среды (100% Ar, 100% N) на твердость и шероховатость упрочняемой поверхности;

- изучается модификация поверхности сплавов титана лазерным легированием с целью уменьшения шероховатости и повышения износостойкости поверхностных слоев медицинских имплантантов;

- технология комбинированного поверхностного упрочнения путем лазерного легирования нитридообразующими элементами с последующим азотированием легированного слоя, что позволяет существенно повысить твердость, износостойкость, сопротивление статическому и усталостному разрушению низкоуглеродистых сталей.

4. Студент должен знать, что если толщина расплава меньше легирующего слоя, то этот процесс называют лазерной наплавкой.

5. Вопросы и задания

1. Что представляет собой лазерное поверхностное легирование металлов и сплавов?
2. Основные виды лазерного поверхностного легирования.
3. Комбинированное поверхностное лазерное легирование.
4. Что называют лазерной наплавкой?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.4 Практическое занятие № 4. Определение изменения дефектности структуры после объемного импульсного лазерного упрочнения

1. Цель работы

Целью работы является изучение определения изменений структуры материалов после лазерного воздействия на микроуровне.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что метод объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ) позволяет упрочнять материал по локальному объему (до 30 миллиметров) за счет инициирования в нем ударной волны однократным высокоэнергетическим лазерным импульсом.

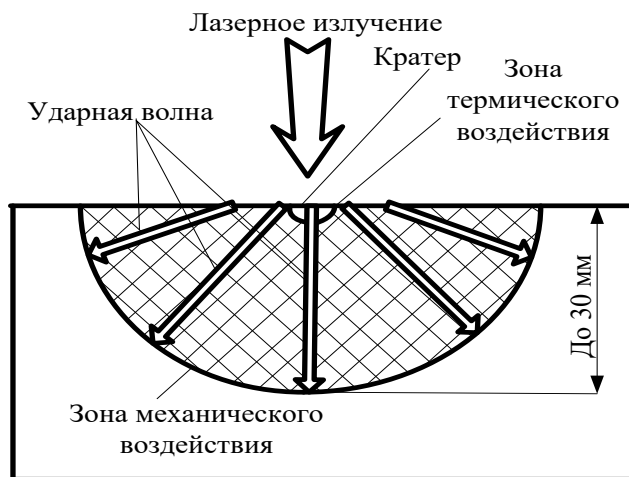


Рисунок 2.1 – Механизм объемного импульсного лазерного упрочнения

2. Студент должен знать, что при ОИЛУ на первом этапе происходит преобразование энергии импульса в тепловую энергию облучаемого материала. На втором этапе происходит преобразование термической энергии материала в механическую энергию ударной волны. Третий этап представляет собой совокупность сложных механо-физико-химических процессов, которые инициируются прохождением ударной волны. Этот этап и связан с изменением механических свойств материала.

3. Студент должен знать методы исследования прохождения ударной волны в материалах: тензометрию, рентгеноструктурный анализ.

4. Студент должен знать, что показателями воздействия ударной волны на материалы являются характеристики изменения их степени дефектности структуры (размеры блоков мозаики, микроискажения кристаллической решетки и плотность дислокаций).

Размеры блоков мозаики L и микроискажения кристаллической решетки $\frac{\Delta d}{d}$ вычислялись по формулам:

$$L = \frac{\lambda}{B_{\phi} \cdot \cos \theta}, \quad (2)$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{B_{\phi}}{4 \cdot \operatorname{tg} \theta}, \quad (3)$$

где λ – длина волны зондирующего рентгеновского излучения;

B, θ – физическое уширение и положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.

Плотность дислокаций определялась по формуле:

$$\rho = \sqrt{\rho_s \cdot \rho_L}, \quad (4)$$

где $\rho_s = \frac{90}{b^2} \cdot \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2$, $\rho_L = \frac{3}{L^2}$ – плотности дислокаций, вычисленные по значениям микроискажений кристаллической решетки и размеру блоков мозаики;

b – вектор Бюргерса ($b = 0,301$ нм).

5. Вопросы и задания

1. Механизм объемного импульсного лазерного упрочнения.
2. Условия для создания ударной волны в материалах.
3. Методы исследования прохождения ударной волны в материалах.
4. Показатели воздействия ударной волны на материалы.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.5 Практическое занятие № 5. Экспериментальная оценка результатов лазерного воздействия

1. Цель работы

Целью работы является изучение определения изменений структуры материалов после лазерного воздействия на микроуровне.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что микроструктурный анализ заключается в исследовании строения (структуры) металлов и сплавов с помощью

оптических металлографических микроскопов с увеличением от 50 до 1500 раз или с помощью электронных микроскопов со значительно большими увеличениями.

С помощью микроанализа можно определить следующие особенности структуры:

- тип и балл неметаллических включений в сплавах;
- величину и форму зерен;
- размер, форму и расположение структурных составляющих (карбидов, графитовых включений и др.);
- микродефекты металла либо сплава (микротрещины, раковины);
- структуру поверхностных слоев (после химико-термической обработки, поверхностной закалки и т.п.).

2. Студент должен знать, что микроскопический анализ включает в себя приготовление микрошлифов и исследование их с помощью металлографического микроскопа.

Микрошлифом называется образец металла или сплава, поверхность которого специально подготовлена для микроанализа.

3. Для оценки результатов измерений, приведённых в таблице используются относительные величины изменения микроструктуры образцов:

$$K_{\Delta S} = \frac{\Delta S_{исх}}{\Delta S_{ОИЛTV}}, \quad (2.1)$$

где $\Delta S_{исх}$ и $\Delta S_{ОИЛTV}$ – соответственно средняя площадь зерна исходных и упрочнённых образцов, мкм^2 .

$$K_{\Delta D} = \frac{\Delta D_{исх}}{\Delta D_{ОИЛTV}}, \quad (2.2)$$

где $\Delta D_{исх}$ и $\Delta D_{ОИЛTV}$ – соответственно средний диаметр зерна исходных и упрочнённых образцов, мкм .

$$K_{K_a} = \frac{K_{аисх}}{K_{аОИЛTV}}, \quad (2.3)$$

где $K_{аисх}$ и $K_{аОИЛУ}$ – соответственно коэффициент анизотропии исходных и упрочнённых образцов.

5. Вопросы и задания

1. Основы микроструктурного анализа.
2. Методика микроструктурного анализа.
3. Относительные величины изменения микроструктуры образцов.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.6 Практическое занятие № 6. Выбор режимов объемного импульсного лазерного упрочнения

1. Цель работы

Целью работы является изучение видов лазеров, используемых для обработки материалов.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;

- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что лазер для обработки материалов должен обеспечивать:

- генерацию излучения высокой мощности;
- требуемый режим излучения;
- стабильность работы;
- большой срок службы;
- высокую надежность;
- минимальную массу и размеры;
- максимальную простоту конструкции и обслуживания.

2. Студент должен знать, что в машиностроительном производстве используют следующие виды лазеров:

1. Газоразрядные CO₂-лазеры
2. Твердотельные лазеры на рубине
3. Твердотельные лазеры на стекле с неодимом (Ст:Nd)

4. Твердотельные лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом (АИГ:Nd).

3. Студент должен знать, что до сих пор не созданы материалы проходной оптики, обеспечивающие минимальный коэффициент поглощения излучения с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм для газовых лазеров. Кроме того, ЛТУ с мощными СО₂-лазерами являются громоздкими, имеют высокую стоимость и большую массу (до нескольких тонн).

4. Студент должен знать, что в настоящее время в машиностроении используются следующие виды лазеров:

- рубиновые лазеры;
- твердотельные лазеры с активным элементом в виде стержней или пластин из стекла с добавкой неодима (Ст.:Nd);
- лазеры на алюмоиттриевом гранате, легированном неодимом (АИГ:Nd).

5. Вопросы и задания

1. Требования, предъявляемые к лазерам для обработки материалов.
2. Виды лазеров, используемых в машиностроительном производстве.
3. Недостатки газовых лазеров.
4. Виды твердотельных лазеров.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.7 Практическое занятие № 7. Выбор режимов импульсной лазерной обработки

1. Цель работы

Целью работы является изучение лазерных технологических установок.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать структурную схему лазерной технологической установки (ЛТУ).

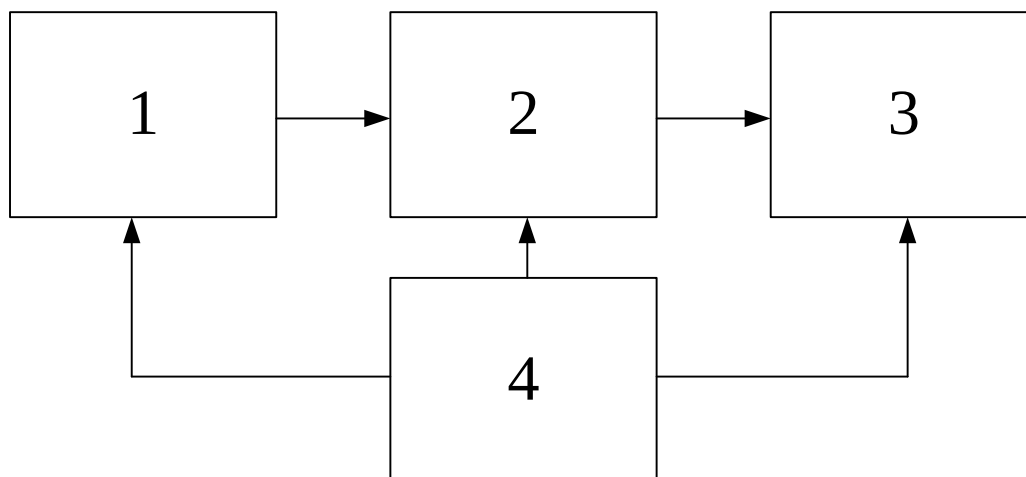


Рисунок 2.2 – Структурная схема ЛТУ: 1 – блок излучателя (лазер, система охлаждения); 2 – оптический блок (вспомогательный лазер, фокусирующий объектив, система наблюдения); 3 – блок позиционирования (обрабатываемая деталь, рабочий стол, система позиционирования); 4 – блок управления и питания (система управления, система питания)

2. Студент должен знать, что оптические системы лазеров используют для изменения распределения энергии по сечению лазерного пучка, вариации продольных и поперечных размеров луча, состояния поляризации в зоне обработки. С помощью оптических систем разных конструкций – линзовых, зеркальных или волоконно-оптических световодов передают лазерное излучение до обрабатываемой поверхности.

3. Студент должен знать, что каждая мода характеризуется своей расходимостью и распределением энергии по сечению лазерного пучка. При многомодовом излучении наблюдается низкая степень когерентности. Каждая мода такого излучения будет фокусироваться в пятно, расположенное на некотором расстоянии от оптической оси. Т. е. луч будет «рыхлым» и не обеспечит точности обработки. Также будет неоднородным распределение плотности мощности по поперечному сечению луча.

Если излучение будет происходить на основной моде TEM₀₀, то на выходе будет наблюдаться одно пятно, максимум мощности которого

соответствует направлению оптической оси, а распределение плотности мощности по сечению является гауссовым (нормальным).

Такое излучение можно сфокусировать в пятно минимальных размеров и получить высокую плотность мощности излучения в зоне обработки.

Таким образом, мощность многомодового излучения больше мощности одномодового, но плотность мощности многомодового излучения в сфокусированном пятне меньше, чем у одномодового, так как многомодовое излучение фокусируется в пятно большего размера.

Поэтому при необходимости получения большой плотности мощности на малой площади, например, при получении отверстий малого диаметра, необходимо использовать источник одномодового излучения, позволяющий сфокусировать луч до сотых долей миллиметра.

4. Студент должен знать, что для обеспечения стабильности энергетических и пространственных параметров излучения в зоне обработки необходима температурная константа основных элементов ЛТУ: активного элемента и зеркала резонатора лазера, а также оптической системы. С этой целью применяют системы охлаждения, представляющие собой в большинстве случаев трубки с прокачиваемой по ним охлаждающей жидкостью.

5. Вопросы и задания

1. Структурная схема лазерной технологической установки.
2. Оптические системы лазерной технологической установки.
3. Фокусировка лазерного луча.
4. Системы охлаждения лазерной технологической установки.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986.
– 504 с.

2.8 Практическое занятие № 8. Назначение режимов лазерной сварки

1. Цель работы

Целью работы является изучение практического применения сварки с использованием лазера, а также ее преимуществ по сравнению с традиционными методами.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что процессы лазерной технологии относительно просты в осуществлении, легко управляемы, а высокая пространственно-временная локализованность излучения и отсутствие механического воздействия пучка лазера на объект обработки позволяют реализовать различные уникальные операции: сварку, резку, скрайбирование, поверхностное упрочнение и другие операции, осуществляемые на легко деформируемых изделиях и деталях, в том числе и вблизи теплочувствительных элементов.

Однако широкое использование лазеров в промышленности и, в частности для сварки, зависит от решения ряда проблем, к которым в первую очередь следует отнести необходимость разработки высококачественных и производительных процессов, удовлетворяющих условиям их автоматизации с управлением от ЭВМ. Производительность и технологические возможности лазеров, особенно при сварке энергоемких металлов, ограничиваются относительно низким КПД процесса. При лазерной сварке многих изделий машино- и приборостроения возникает проблема загрязнения изделия частицами свариваемых металлов.

2. Студент должен знать, что лазерная сварка относится к термическому классу процессов сварки, для которых получение неразъемного соединения достигается местным расплавлением материалов, с последующей кристаллизацией расплава. При затвердевании расплава между атомами материалов устанавливаются прочные химические связи, соответствующие природе соединяемых материалов и типу их кристаллической решетки.

Источником тепловой энергии для активации поверхности соединяемых твердых материалов при сварке лазером служит энергия излучения, поглощаемая материалами в зоне воздействия лазерного пучка.

3. Студент должен знать, что для сварки металлов широкое применение нашли следующие типы технологических лазеров: импульсные, в качестве активных сред которых используются стекло или алюмоиттриевый гранат (АИГ) с неодимом; непрерывные твердотельные АИГ-лазеры и газовые CO₂-лазеры, активной средой которых служит молекулярный углекислый газ в смеси с азотом и гелием.

4. Студент должен знать основные схемы процесса лазерной сварки материалов. Структурная схема твердотельного лазера для сварки (рисунок 2.4) содержит блок питания 1, обеспечивающий импульсный или непрерывный режим горения лампы накачки 2, которая вместе с осветителем 3, активным элементом 4 и оптическим резонатором 5 составляет излучатель 6. Система управления 7 осуществляет контроль и регулирование параметров режима работы блока питания. Система охлаждения 8 служит для отвода теплоты от элементов излучателя.

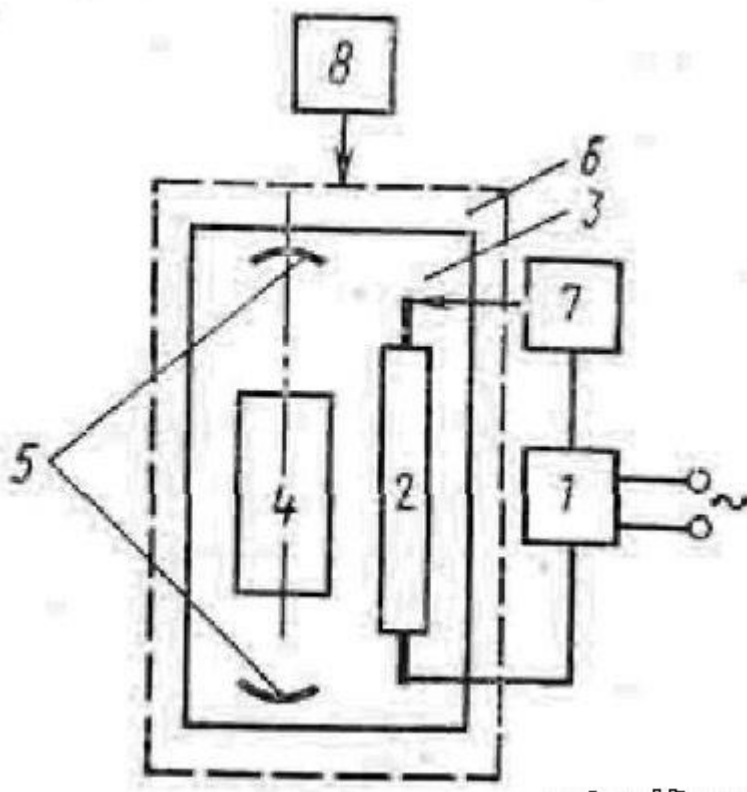


Рисунок 2.2 – Структурная схема твердотельного лазера для сварки

Структурная схема CO₂-лазера (рисунок 2.5) содержит рабочую камеру 1 с активной газовой средой. Камера и оптический резонатор 2 составляют излучатель 3. Импульсный или непрерывный газовый разряд, ведущий к возбуждению активной среды, создается источником питания 4, содержащим, как правило, элементы управления параметрами излучения. Рабочая камера обычно охлаждается с помощью устройства охлаждения 5. Лазеры с прокачкой газовой среды имеют также систему прокачки газа и форвакуумный насос для откачки рабочей камеры.

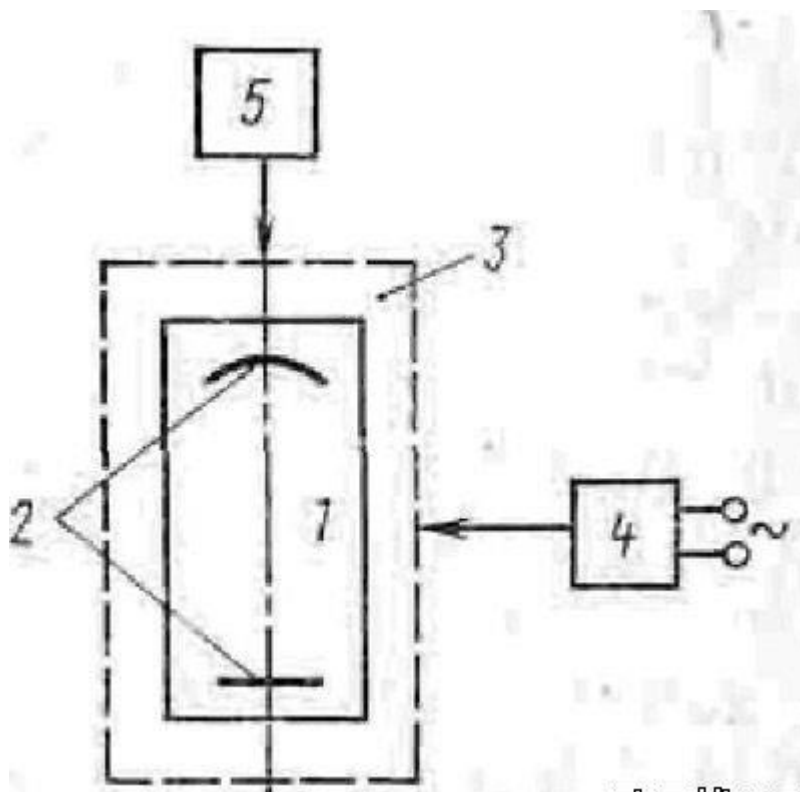


Рисунок 2.3 – Структурная схема CO₂-лазера для сварки

5. Вопросы и задания

1. Основы лазерной сварки материалов.
2. Механизм формирования сварного шва.
3. Лазеры, используемые при лазерной сварке материалов.
4. Схема процесса лазерной сварки материалов.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.9 Практическое занятие № 9. Назначение режимов получения отверстий лазерной обработкой

1. Цель работы

Целью работы является изучение практического применения лазеров для получения отверстий, а также преимуществ лазерной технологии по сравнению с традиционными методами.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;

- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать стадии взаимодействия лазерного излучения с веществом.

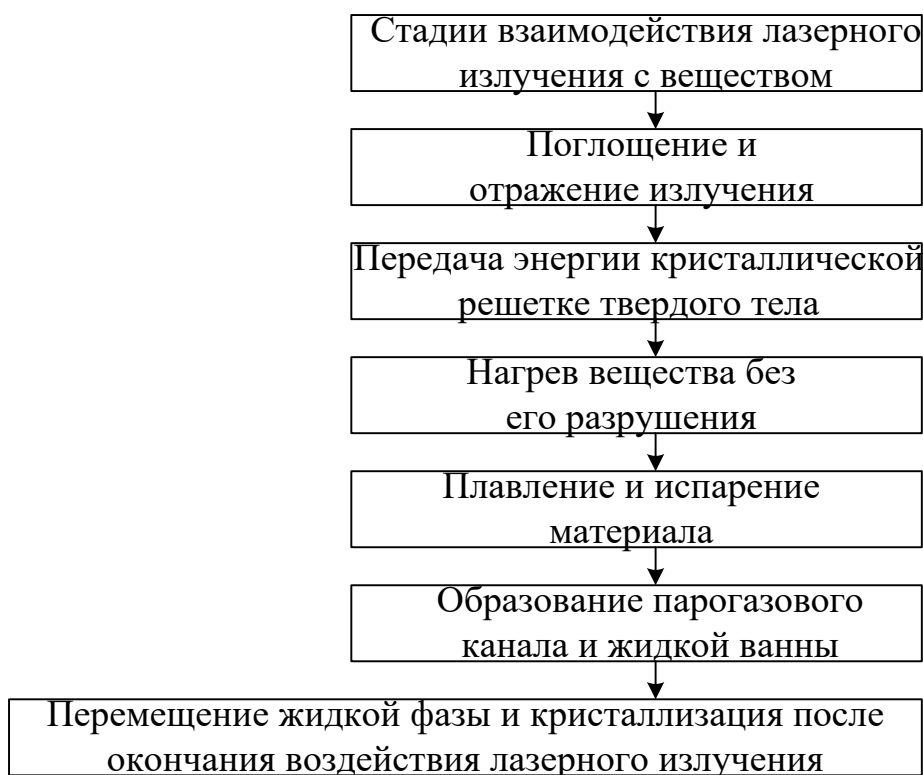


Рисунок 2.4 – Стадии взаимодействия лазерного излучения с веществом

2. Студент должен знать, что величина энергии, поглощенной материалом определяется по формуле:

$$E = E_0 (1 - R), \quad (2.4)$$

где E_0 – энергия падающего излучения;

R – коэффициент отражения излучения от поверхности материала.

Величина R зависит от длины волны лазерного излучения, свойств материала и состояния обрабатываемой поверхности

С уменьшением длины волны лазерного излучения λ величина R снижается.

- $R = 98...94\%$ при $\lambda = 10,6$ мкм (CO₂-лазер);
- $R = 96...70\%$ при $\lambda = 1,06$ мкм (Ст:Nd, АИГ: Nd-лазеры);
- $R = 90...60\%$ при $\lambda = 0,69$ мкм (рубиновый лазер).

Мероприятия по снижению R :

- повышение температуры облучаемого материала (при $T_{mat} > T_{пл}$ $R \rightarrow 0$). Поэтому перед обработкой часто применяют «поджигающий» импульс (например, сварка алюминия);

- сверление небольшого отверстия, что способствует полному поглощению лазерного излучения;

- нанесение специальных светопоглощающих покрытий;
- увеличение шероховатости поверхности.

3. Студент должен знать этапы плавления и испарения материала:

- «начальный» этап, при котором происходит образование лунки ($\approx 0,01$ с);

- «скоростной» этап. При росте глубины лунки происходит образование парогазового канала за счет интенсивного испарения вещества. Этот этап отличается высокой скоростью и ступенчатым характером проплавления, связанным с периодическим экранированием лазерного излучения плазменным факелом ($\approx 0,05$ с);

- «корневой» этап, который проходит с постепенно снижающейся скоростью проплавления ($\approx 0,15$ с).

4. Студент должен знать, что условия кристаллизации оказывают большое влияние на строение, структуру и свойства затвердевшего материала. При высокой плотности мощности излучения, достаточной для испарения металла на всей глубине обработки, удаление материала из зоны

воздействия происходит в виде парокапельной фазы. При меньших плотностях мощности излучения образуется расплав, который при остывании металла приводит к заплавлению образующегося канала. В этом случае при разделении (резке) в зону обработки направляют поток вспомогательного газа, выдувающего жидкий расплав из кратера. При этом суммарные энергозатраты на порядок меньше, чем при испарении материала.

5. Вопросы и задания

1. Стадии взаимодействия лазерного излучения с веществом.
2. Величина энергии, поглощенной материалом.
3. Плавление и испарение материала при лазерной обработке.
4. Условия кристаллизации при лазерной обработке.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М: Мир, 1986. – 504 с.

2.10 Практическое занятие № 10. Выбор режимов лазерной резки материалов

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;

- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. Студент должен знать, что воздействие лазерного излучения на металл при разрезании характеризуется общими положениями, связанными с поглощением и отражением излучения, распространением поглощенной энергии по объему материала за счет теплопроводности и др., а также рядом специфических особенностей.

2. Студент должен знать, что в области воздействия лазерного луча металл нагревается до первой температуры разрушения – плавления.

3. Студент должен знать, что с дальнейшим поглощением излучения происходит расплавление металла, и фазовая граница плавления перемещается в глубь материала. В то же время энергетическое воздействие

лазерного луча приводит к дальнейшему увеличению температуры, достигающей второй температуры разрушения – кипения, при которой металл начинает активно испаряться.

Таким образом, возможны два механизма лазерной резки – плавлением и испарением. Однако последний механизм требует высоких энергозатрат и осуществим лишь для достаточно тонкого металла. Поэтому на практике резку выполняют плавлением.

4. Студент должен знать, что в целях существенного сокращения затрат энергии, повышения толщины обрабатываемого металла и скорости разрезания применяется вспомогательный газ, вдуваемый в зону реза для удаления продуктов разрушения металла. Обычно в качестве вспомогательного газа используется кислород, воздух, инертный газ или азот. Такая резка называется газолазерной.

Например, кислород при газолазерной резке выполняет тройную функцию:

- вначале содействует предварительному окислению металла и снижает его способность отражать лазерное излучение;
- затем металл воспламеняется и горит в струе кислорода, в результате выделяется дополнительная теплота, усиливающая действие лазерного излучения;
- кислородная струя сдувает и уносит из области резки расплавленный металл и продукты его сгорания, обеспечивая одновременный приток газа непосредственно к фронту реакции горения.

В зависимости от свойств разрезаемого металла применяются два механизма газолазерной резки. При первом значительный вклад в общий тепловой баланс вносит теплота реакции горения металла. Такой механизм резки обычно используется для материалов, подверженных воспламенению и горению ниже точки плавления и образующих жидкотекучие оксиды. Примерами могут служить низкоуглеродистая сталь и титан.

При втором механизме резки материал не горит, а плавится, и струя газа удаляет жидкий металл из области реза. Данный механизм применяется для металлов и сплавов с низким тепловым эффектом реакции горения, а также для тех, у которых при взаимодействии с кислородом образуются тугоплавкие оксиды. Например, легированные и высокоуглеродистые стали, алюминий, медь и др.

5. Вопросы и задания

1. Основы лазерной резки материалов.
2. Лазерная резка плавлением.
3. Лазерная резка испарением.
4. Газолазерная резка.

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.11 Практическое занятие № 11. Исследования изменений размеров блоков мозаики материала после ОИЛУ

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Лáзер (от англ. LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что в переводе на русский означает «усиление света посредством вынужденного излучения»), или опти́ческий квантовый генерáтор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

То есть, это луч света, испускаемый синхронными источниками, в узком направленном диапазоне. Такой чрезвычайно сконцентрированный световой поток.

Принцип работы лазера основан на явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона

без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

Пример выполнения работы.

Размеры блоков мозаики L вычисляются по формуле:

$$L = \frac{\lambda}{B_{\phi} \cdot \cos \theta}, \quad (11.1)$$

где λ – длина волны зондирующего рентгеновского излучения ($\lambda = 10^{-9}$ м);

B, θ – физическое уширение и положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.

Исходные данные приведены на рисунках 11.1, 11.2.

Peak List**Peak Search Settings**

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	0 / 32

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>
32.280	2.7710	42	0.277	100%
34.173	2.6217	9	0.216	93.2%
35.299	2.5406	54	0.262	100%
36.605	2.4529	10	0.185	95.5%
37.261	2.4112	40	0.272	100%
39.890	2.2581	114	0.257	100%
42.402	2.1300	199	0.248	100%
44.517	2.0336	1015	0.269	100%
46.399	1.9554	74	0.280	100%
49.316	1.8464	9	0.256	95.6%
50.791	1.7961	14	0.248	99.9%
56.130	1.6373	7	0.242	93.6%
56.778	1.6201	10	0.246	98.6%
59.659	1.5486	22	0.277	100%
60.361	1.5322	8	0.210	92.8%
61.078	1.5160	7	0.218	91.4%
61.902	1.4977	9	0.251	97.1%
62.886	1.4767	12	0.267	98.4%
64.833	1.4369	64	0.327	100%
68.506	1.3686	8	0.239	95.3%
69.555	1.3505	18	0.318	100%
72.488	1.3029	72	0.301	100%
74.248	1.2763	14	0.247	99.4%
82.188	1.1719	115	0.337	100%
87.835	1.1105	18	0.305	99.9%
90.446	1.0851	11	0.254	97.1%
92.290	1.0682	13	0.254	98.8%
98.755	1.0149	50	0.349	100%
103.862	0.9784	7	0.238	91.0%
117.093	0.9030	19	0.235	99.0%
118.329	0.8971	10	0.227	94.5%
132.104	0.8429	10	0.242	94.3%

Рисунок 11.1 – Результаты рентгеноструктурного анализа исходных образцов

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold 90%
Matched / Total 0 / 24

List of Peaks

2-Theta	D-Spacing	Intensity	Width	Confidence
31.204	2.8641	187	0.019	98.6%
31.541	2.8342	148	0.017	96.8%
31.778	2.8136	156	0.018	97.6%
32.501	2.7527	212	0.019	99.7%
33.186	2.6974	127	0.019	94.2%
33.837	2.6470	112	0.020	91.5%
35.457	2.5297	175	0.019	98.8%
36.767	2.4425	119	0.020	93.8%
37.595	2.3906	124	0.018	95.3%
40.316	2.2353	128	0.020	95.9%
40.699	2.2151	137	0.019	98.1%
41.982	2.1503	114	0.021	94.7%
42.282	2.1358	467	0.027	100%
43.022	2.1008	91	0.019	92.2%
44.276	2.0441	178	0.019	96.8%
44.409	2.0383	363	0.026	99.1%
45.078	2.0096	114	0.018	98.2%
46.002	1.9714	96	0.019	95.2%
46.203	1.9632	153	0.019	94.6%
55.336	1.6589	61	0.017	91.4%
57.957	1.5899	60	0.019	90.1%
72.342	1.3051	115	0.019	90.4%
76.282	1.2472	51	0.018	90.1%
115.417	0.9112	54	0.017	90.5%

Рисунок 11.2 – Результаты рентгеноструктурного анализа образцов после ОИЛУ

В качестве значимых, имеющих наибольшую интенсивность пиков, принимаем положения центра тяжести рентгеновских дифракционных линий 2θ : 31,204; 32,501; 35,457; 42,282; 44,276; 44,409.

Определяем размеры блоков мозаики:

- для исходных образцов:

$$L_{исх1} = \frac{10^{-9}}{0,269 * \cos(\frac{44,517}{2})} = 3,85 * 10^{-9}$$

$$L_{исх2} = \frac{10^{-9}}{0,248 * \cos(\frac{42,402}{2})} = 3,7 * 10^{-9}$$

$$L_{исх3} = \frac{10^{-9}}{0,337 * \cos(\frac{82,188}{2})} = 3,06 * 10^{-9}$$

$$L_{исх4} = \frac{10^{-9}}{0,257 * \cos(\frac{39,890}{2})} = 3,28 * 10^{-9}$$

$$L_{исх5} = \frac{10^{-9}}{0,280 * \cos(\frac{46,399}{2})} = 3,50 * 10^{-9}$$

$$L_{исх6} = \frac{10^{-9}}{0,301 * \cos(\frac{72,488}{2})} = 2,87 * 10^{-9}$$

- для образцов после ОИЛУ:

$$L_{оилу1} = \frac{10^{-9}}{0,027 * \cos(\frac{42,282}{2})} = 5,6 * 10^{-9}$$

$$L_{оилу2} = \frac{10^{-9}}{0,026 * \cos(\frac{44,409}{2})} = 5,94 * 10^{-9}$$

$$L_{оилу3} = \frac{10^{-9}}{0,019 * \cos(\frac{32,501}{2})} = 6,14 * 10^{-9}$$

$$L_{оилу4} = \frac{10^{-9}}{0,019 * \cos(\frac{31,204}{2})} = 5,29 * 10^{-9}$$

$$L_{оилу5} = \frac{10^{-9}}{0,019 * \cos(\frac{44,276}{2})} = 5,32 * 10^{-9}$$

$$L_{ОИЛУ6} = \frac{10^{-9}}{0,019 * \cos \frac{35,457}{2}} = 6,21 * 10^{-9}$$

Вычисляем K_L по формуле:

$$K_L = \frac{L_{исх}}{L_{ОИЛУ}}$$

где $L_{исх}$ и $L_{ОИЛУ}$ – соответственно размеры блоков мозаики исходных и упрочненных образцов.

$$K_{L1} = \frac{3,85 * 10^{-9}}{5,6 * 10^{-9}} = 0,68$$

$$K_{L2} = \frac{3,7 * 10^{-9}}{5,94 * 10^{-9}} = 0,63$$

$$K_{L3} = \frac{3,06 * 10^{-9}}{6,14 * 10^{-9}} = 0,50$$

$$K_{L4} = \frac{3,28 * 10^{-9}}{5,29 * 10^{-9}} = 0,62$$

$$K_{L5} = \frac{3,50 * 10^{-9}}{5,32 * 10^{-9}} = 0,66$$

$$K_{L6} = \frac{2,87 * 10^{-9}}{6,21 * 10^{-9}} = 0,46$$

Строим зависимость изменения размеров блоков от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий (рисунок 11.3).

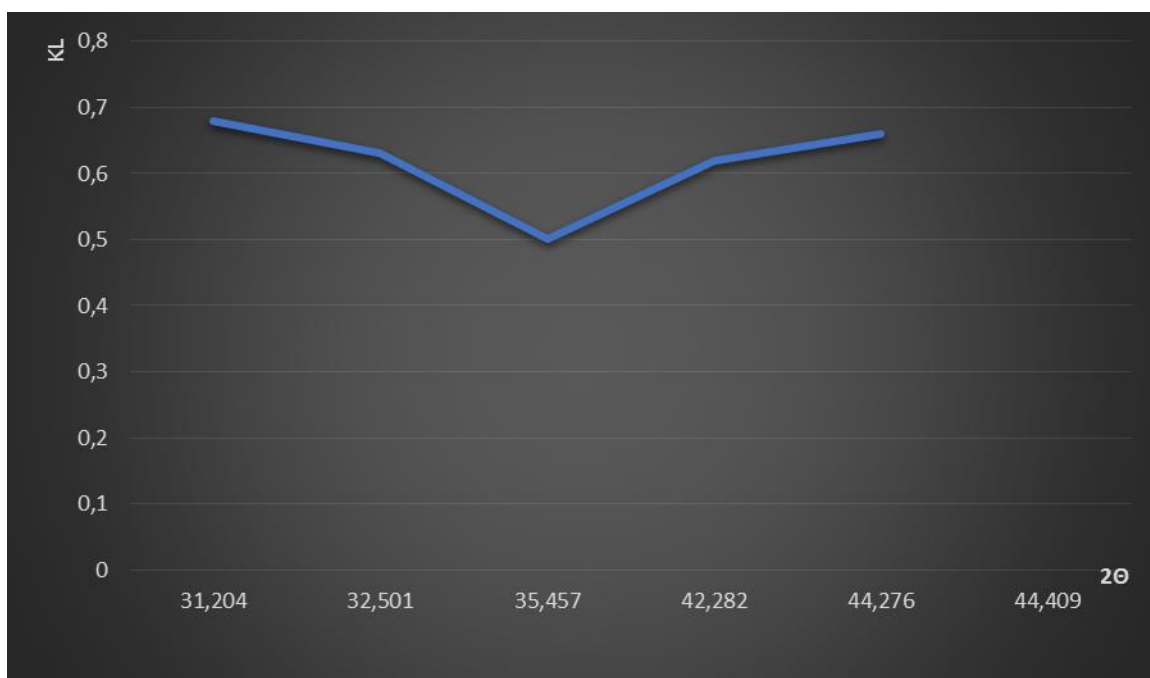


Рисунок 11.3 – Зависимость изменения размеров блоков от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий

5. Вопросы и задания

1. Рентгеноструктурный анализ.
2. Как определяются размеры блоков?
3. Как определяется коэффициент изменения размеров блоков?
4. Как строится зависимость изменения размеров блоков от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.12 Практическое занятие № 12. Исследования изменений микронапряжений кристаллической решетки после ОИЛУ

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Лáзер (от англ. LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что в переводе на русский означает «усиление света посредством вынужденного излучения»), или опті́ческий квантовый генерáтор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

То есть, это луч света, испускаемый синхронными источниками, в узком направленном диапазоне. Такой чрезвычайно сконцентрированный световой поток.

Принцип работы лазера основан на явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

Пример выполнения работы.

Размеры микроискажений кристаллической решетки $\frac{\Delta d}{d}$ вычисляются по формуле:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{B_{\phi}}{4 \cdot \operatorname{tg} \theta}, \quad (12.1)$$

где λ – длина волны зондирующего рентгеновского излучения ($\lambda = 10^{-9}$ м);

B, θ – физическое уширение и положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.

Исходные данные берем из работы 11.

- Для исходных образцов:

$$1) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,269}{4 \cdot \tan\left(\frac{44,517}{2}\right)} = 0,245$$

$$2) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,248}{4 * \tan\left(\frac{42,402}{2}\right)} = 0,230$$

$$3) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,337}{4 * \tan\left(\frac{82,188}{2}\right)} = 0,325$$

$$4) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,257}{4 * \tan\left(\frac{39,890}{2}\right)} = 0,233$$

$$5) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,280}{4 * \tan\left(\frac{46,399}{2}\right)} = 0,226$$

$$6) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,301}{4 * \tan\left(\frac{72,488}{2}\right)} = 0,198$$

- Для образцов после ОИЛУ:

$$1) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,027}{4 * \tan\left(\frac{42,282}{2}\right)} = 0,005$$

$$2) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,026}{4 * \tan\left(\frac{44,409}{2}\right)} = 0,030$$

$$3) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,019}{4 * \tan\left(\frac{32,501}{2}\right)} = 0,007$$

$$4) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,019}{4 * \tan\left(\frac{31,204}{2}\right)} = 0,044$$

$$5) \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,019}{4 * \tan\left(\frac{44,276}{2}\right)} = 0,032$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{0,019}{4 * \tan\left(\frac{35,457}{2}\right)} = 0,002$$

Вычисляем $K_{\frac{\Delta d}{d}}$ по формуле:

$$K_{\frac{\Delta d}{d}} = \frac{\frac{\Delta d}{d}_{исх}}{\frac{\Delta d}{d}_{ОИЛУ}}, \quad (12.2)$$

где $\frac{\Delta d}{d}_{исх}$ и $\frac{\Delta d}{d}_{ОИЛУ}$ - соответственно микроискажения кристаллической решетки исходных и упрочненных образцов.

$$K_{\frac{\Delta d}{d}1} = \frac{0,245}{0,027} = 9,074$$

$$K_{\frac{\Delta d}{d}2} = \frac{0,230}{0,030} = 7,6$$

$$K_{\frac{\Delta d}{d}^3} = \frac{0,325}{0,007} = 46,42$$

$$K_{\frac{\Delta d}{d}^4} = \frac{0,233}{0,044} = 5,3$$

$$K_{\frac{\Delta d}{d}^5} = \frac{0,226}{0,032} = 7,06$$

$$K_{\frac{\Delta d}{d}^6} = \frac{0,198}{0,002} = 99$$

Строим зависимость изменения микроискажений кристаллической решетки от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.

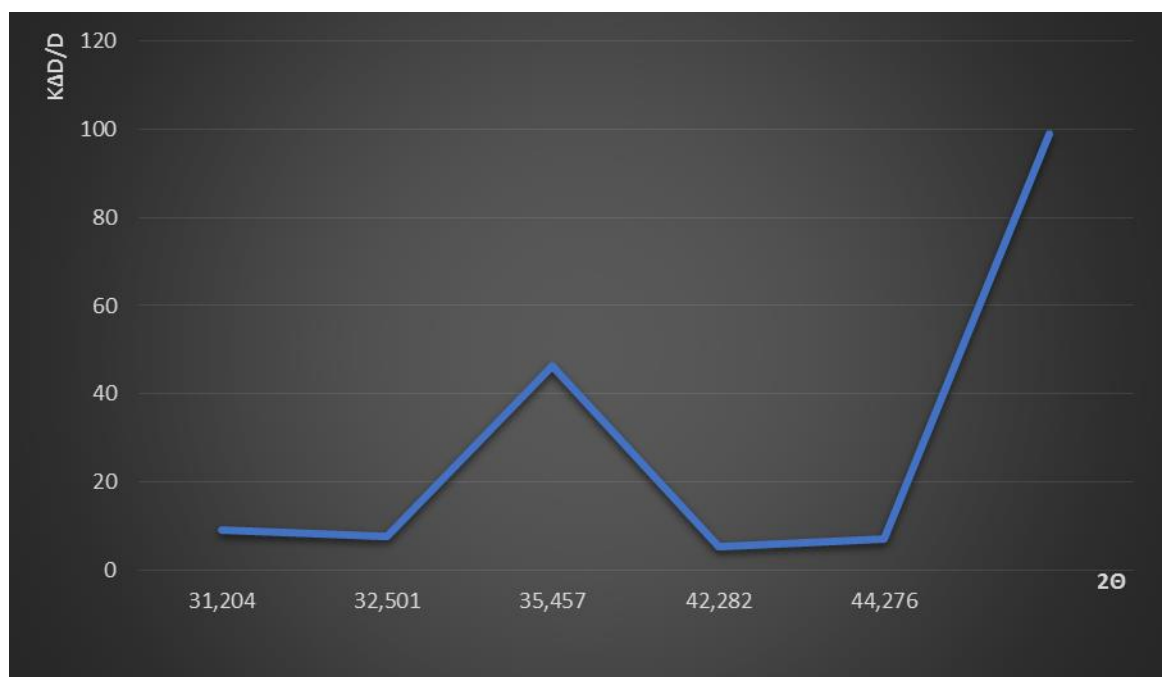


Рисунок 12.1 – Зависимость изменения микроискажений кристаллической решетки от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий

5. Вопросы и задания

1. Особенности рентгеноструктурного анализа.
2. Как определяются микроискажения кристаллической решетки?
3. Как определяется коэффициент изменения микроискажений кристаллической решетки?

4. Как строится зависимость изменения микроискажений кристаллической решетки от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.13 Практическое занятие № 13. Исследования изменений микроискажений кристаллической решетки после ОИЛУ

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения;
- основные методы лазерной термической обработки;
- основные элементы лазерных технологических установок (ЛТУ);
- требования к промышленным лазерам.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров;
- назначать примерные режимы облучения при поверхностной лазерной закалке, импульсной лазерной обработке;
- выбирать материалы для лазерного поверхностного легирования металлов и сплавов;
- определять преимущества лазерной наплавки и напыления.

Владеть:

- знаниями по классификации лазеров по типу активной среды;
- навыками по определению КПД промышленных лазеров;
- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Лáзер (от англ. LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что в переводе на русский означает «усиление света посредством вынужденного излучения»), или опті́ческий квантовый генерáтор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

То есть, это луч света, испускаемый синхронными источниками, в узком направленном диапазоне. Такой чрезвычайно сконцентрированный световой поток.

Принцип работы лазера основан на явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

Пример выполнения работы.

Плотность дислокаций вычисляется по формуле:

$$\rho = \sqrt{\rho_s \cdot \rho_L}, \quad (13.1)$$

где $\rho_s = \frac{90}{b^2} \cdot \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2$, $\rho_L = \frac{3}{L^2}$ – плотности дислокаций, вычисленные по значениям микроискажений кристаллической решетки и размеру блоков мозаики.

Исходные данные берем из работы 11.

- Для исходных образцов:

$$p_{\text{сисх1}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,245 = 243$$

$$p_{\text{сисх2}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,230 = 228$$

$$p_{\text{сисх3}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,325 = 323$$

$$p_{\text{сисх4}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,233 = 231$$

$$p_{\text{сисх5}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,226 = 224$$

$$p_{\text{сисх6}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,198 = 197$$

- Для образцов после ОИЛУ:

$$p_{\text{соилу1}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,005 = 5$$

$$p_{\text{соилу2}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,030 = 30$$

$$p_{\text{соилу3}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,007 = 7$$

$$p_{\text{соилу4}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,044 = 44$$

$$p_{\text{соилу5}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,032 = 32$$

$$p_{\text{соилу6}} = \frac{90}{0,301^2} * 0,002 = 2$$

- Для исходных образцов:

$$1) p_L = \frac{3}{(3,85 \cdot 10^{-9})^2} = 2,02 * 10^{17}$$

$$2) p_L = \frac{3}{(3,7 \cdot 10^{-9})^2} = 2,19 \cdot 10^{17}$$

$$3) p_L = \frac{3}{(3,06 \cdot 10^{-9})^2} = 3,20 \cdot 10^{17}$$

$$4) p_L = \frac{3}{(3,28 \cdot 10^{-9})^2} = 2,78 \cdot 10^{17}$$

$$5) p_L = \frac{3}{(3,50 \cdot 10^{-9})^2} = 2,45 \cdot 10^{17}$$

$$6) p_L = \frac{3}{(2,87 \cdot 10^{-9})^2} = 3,64 \cdot 10^{17}$$

- Для образцов после ОИЛУ:

$$1) p_L = \frac{3}{(5,6 \cdot 10^{-9})^2} = 9,56 \cdot 10^{16}$$

$$2) p_L = \frac{3}{(5,94 \cdot 10^{-9})^2} = 8,50 \cdot 10^{16}$$

$$3) p_L = \frac{3}{(6,14 \cdot 10^{-9})^2} = 7,95 \cdot 10^{16}$$

$$4) p_L = \frac{3}{(5,29 \cdot 10^{-9})^2} = 1,07 \cdot 10^{16}$$

$$5) p_L = \frac{3}{(5,32 \cdot 10^{-9})^2} = 1,05 \cdot 10^{16}$$

$$p_L = \frac{3}{(6,21 \cdot 10^{-9})^2} = 7,78 \cdot 10^{16}$$

- Для исходных образцов:

$$p_{\text{иск1}} = \sqrt{243 \cdot 2,02 \cdot 10^{17}} = 7 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{иск2}} = \sqrt{228 \cdot 2,19 \cdot 10^{17}} = 7,06 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{иск3}} = \sqrt{323 \cdot 3,20 \cdot 10^{17}} = 1,01 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{иск4}} = \sqrt{231 \cdot 2,78 \cdot 10^{17}} = 8,01 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{иск5}} = \sqrt{224 \cdot 2,45 \cdot 10^{17}} = 7,4 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{иск6}} = \sqrt{197 \cdot 3,64 \cdot 10^{17}} = 8,47 \cdot 10^9$$

- Для образцов после ОИЛУ:

$$p_{\text{оилу1}} = \sqrt{5 \cdot 9,56 \cdot 10^{16}} = 6,91 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{оилу2}} = \sqrt{30 \cdot 8,50 \cdot 10^{16}} = 2 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{оилу3}} = \sqrt{7 \cdot 7,95 \cdot 10^{16}} = 7,46 \cdot 10^9$$

$$p_{\text{оилу4}} = \sqrt{44 \cdot 1,07 \cdot 10^{16}} = 6,86 \cdot 10^9$$

$$\rho_{\text{оилу5}} = \sqrt{32 * 1,05 * 10^{16}} = 5,8 * 10^9$$

$$\rho_{\text{оилу6}} = \sqrt{2 * 7,78 * 10^{16}} = 3,94 * 10^9$$

Вычисляем K_ρ по формуле:

$$K_\rho = \frac{\rho_{\text{исх}}}{\rho_{\text{ОИЛУ}}}, \quad (13.2)$$

где $\rho_{\text{исх}}$ и $\rho_{\text{ОИЛУ}}$ - соответственно плотность дислокаций исходных и упрочненных образцов.

$$K_{p1} = \frac{7 * 10^9}{6,91 * 10^9} = 1,013$$

$$K_{p2} = \frac{7,06 * 10^9}{2 * 10^9} = 3,53$$

$$K_{p3} = \frac{1,01 * 10^9}{7,46 * 10^9} = 0,135$$

$$K_{p4} = \frac{8,01 * 10^9}{6,86 * 10^9} = 1,167$$

$$K_{p5} = \frac{7,4 * 10^9}{5,8 * 10^9} = 1,276$$

$$K_{p6} = \frac{8,47 * 10^9}{3,94 * 10^9} = 1,388$$

Строим зависимость изменения плотности дислокаций от положения центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.

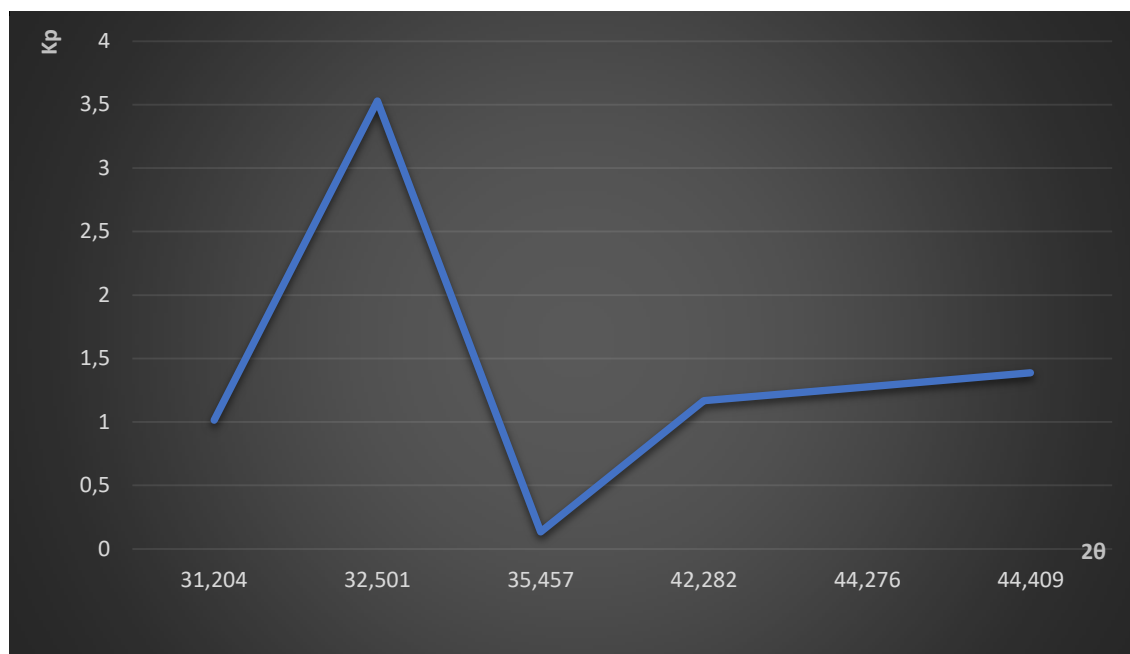


Рисунок 13.1 – Зависимость изменения плотности дислокаций от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий

5. Вопросы и задания

1. Область применения рентгеноструктурного анализа.
2. Как определяется плотность дислокаций?
3. Как определяется коэффициент изменения плотности дислокаций?
4. Как строится зависимость изменения плотности дислокаций от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.14 Практическое занятие № 14. Построение графиков показателей надежности работы лазера

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров.

Владеть:

- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Одной из основных качественных характеристик надежности лазеров является вероятность безотказной работы $P(t)$, т. е. то, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказ лазера, плотность распределения отказов $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Вероятность безотказной работы приближенно оценивают по формуле:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_i}, \quad (1.1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы лазера до момента времени или конца наработки t ;

$N(t)$ – число лазера, отказавших к моменту времени или концу наработки t ;

N_i – число лазеров, подвергнутых испытанию.

Плотность распределения отказов $f(t)$ приближенно оценивают по формуле:

$$f(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_i \cdot \Delta t_i}, \quad (1.2)$$

где $\Delta N(t_i)$ – число отказавших лазеров в промежуток времени Δt_i ;

$\Delta t_{\min}$ – минимальный промежуток времени.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ приближенно оценивают по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(t_i) \cdot \Delta t_{\min}}{N_u \cdot \Delta t_i}, \quad (1.3)$$

где N_u – число исправных лазеров в данный момент.

Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 1.2.

Пример выполнения работы.

Всего проходили испытание 200 лазеров. Результаты испытаний приведены в таблице 1.1.

Таблица 7.1 – Результаты испытаний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	20	15	8	6	4	3	4	6	9	12
t_i	10	18	28	36	45	56	62	69	76	84

1. Определение вероятности безотказной работы для каждого промежутка времени по формуле 1.1:

1-ый: $P(t) = 1 - \frac{20}{200} = 0,9.$

2-ой: $P(t) = 1 - \frac{35}{200} = 0,825.$

3-ий: $P(t) = 1 - \frac{43}{200} = 0,785.$

4-ый: $P(t) = 1 - \frac{49}{200} = 0,755.$

$$5\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{53}{200} = 0,735.$$

$$6\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{56}{200} = 0,72.$$

$$7\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{60}{200} = 0,7.$$

$$8\text{-ой: } P(t) = 1 - \frac{66}{200} = 0,67.$$

$$9\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{75}{200} = 0,625.$$

$$10\text{-ый: } P(t) = 1 - \frac{87}{200} = 0,565.$$

На основании полученных данных строится зависимость $t - P(t)$ (рисунок 1.1).

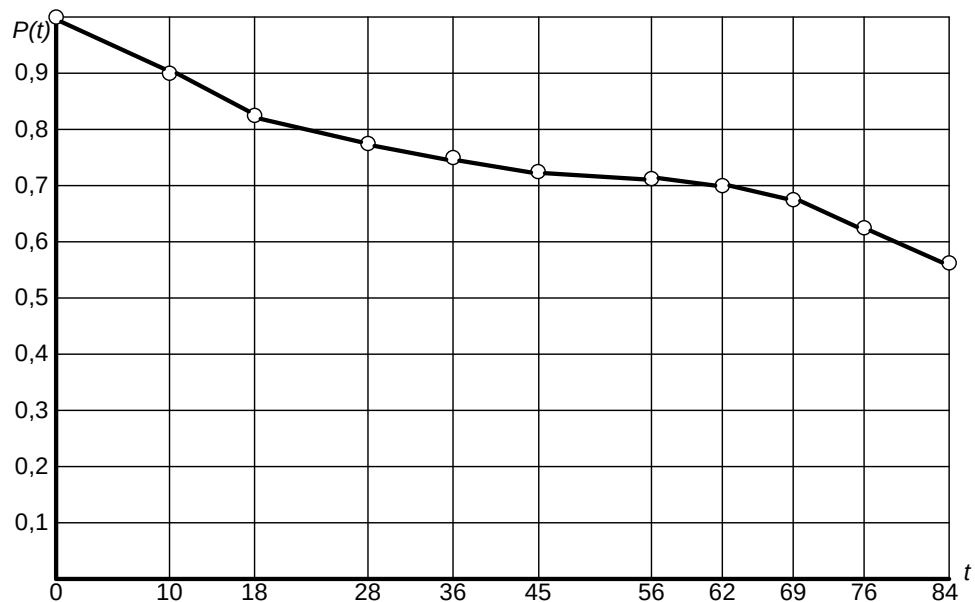


Рисунок 1.1 – Вероятность безотказной работы

2. Определение плотности распределения отказов для каждого промежутка времени по формуле 1.2 ($\Delta t_{\min} = 6$):

$$1\text{-ый: } f(t) = \frac{20 \cdot 6}{200 \cdot 10} = 0,06.$$

$$2\text{-ой: } f(t) = \frac{15 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,056.$$

$$3\text{-ий: } f(t) = \frac{8 \cdot 6}{200 \cdot 10} = 0,024.$$

$$4\text{-ый: } f(t) = \frac{6 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,023.$$

$$5\text{-ый: } f(t) = \frac{4 \cdot 6}{200 \cdot 9} = 0,013.$$

$$6\text{-ой: } f(t) = \frac{3 \cdot 6}{200 \cdot 11} = 0,008.$$

$$7\text{-ой: } f(t) = \frac{4 \cdot 6}{200 \cdot 6} = 0,02.$$

$$8\text{-ой: } f(t) = \frac{6 \cdot 6}{200 \cdot 7} = 0,026.$$

$$9\text{-ый: } f(t) = \frac{9 \cdot 6}{200 \cdot 7} = 0,039.$$

$$10\text{-ый: } f(t) = \frac{12 \cdot 6}{200 \cdot 8} = 0,045.$$

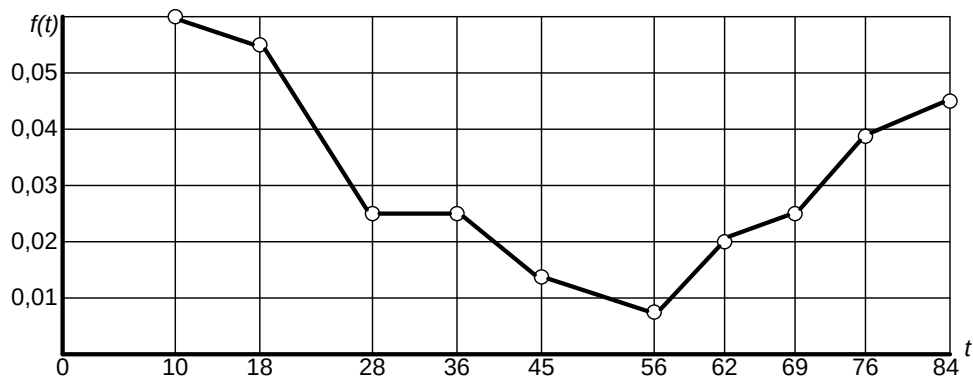


Рисунок 1.2 – Плотность распределения отказов

3. Определение интенсивности отказов для каждого промежутка времени по формуле 1.3 ($\Delta t_{\min} = 6$):

$$1\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{20 \cdot 6}{180 \cdot 10} = 0,067.$$

$$2\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{15 \cdot 6}{165 \cdot 8} = 0,068.$$

$$3\text{-ий: } \lambda(t) = \frac{8 \cdot 6}{157 \cdot 10} = 0,031.$$

$$4\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{6 \cdot 6}{151 \cdot 8} = 0,03.$$

$$5\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{4 \cdot 6}{147 \cdot 9} = 0,018.$$

$$6\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{3 \cdot 6}{144 \cdot 11} = 0,011.$$

$$7\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{4 \cdot 6}{140 \cdot 6} = 0,029.$$

$$8\text{-ой: } \lambda(t) = \frac{6 \cdot 6}{134 \cdot 7} = 0,038.$$

$$9\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{9 \cdot 6}{125 \cdot 7} = 0,062.$$

$$10\text{-ый: } \lambda(t) = \frac{12 \cdot 6}{113 \cdot 8} = 0,08.$$

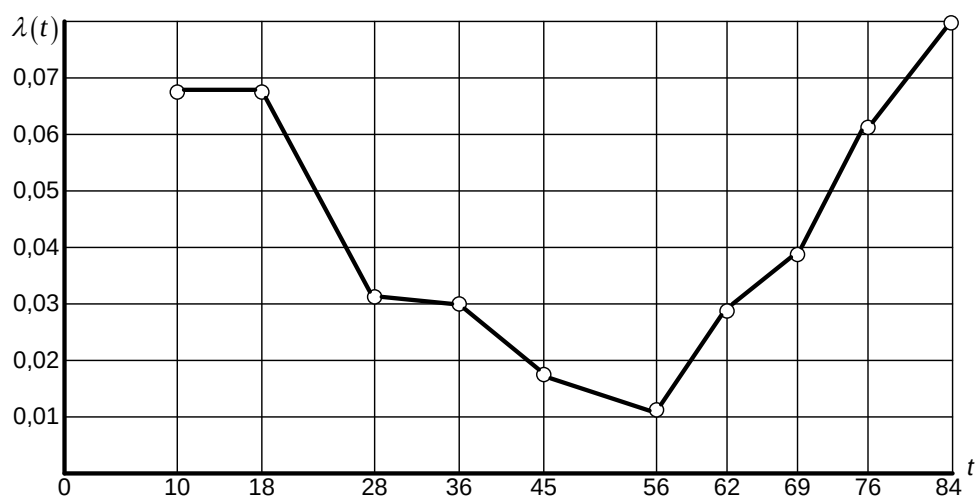


Рисунок 1.3 – Интенсивность отказов

Таблица 1.2 – Варианты заданий

Вариант №1 ($N_i = 180$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	32	24	12	7	6	4	4	6	15	24
t_i	12	19	30	37	44	55	64	70	77	85
Вариант №2 ($N_i = 220$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	30	26	14	6	5	3	5	7	14	28
t_i	14	22	30	36	43	52	61	70	78	84

Вариант №3 ($N_i = 190$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	31	26	14	8	5	3	4	8	16	22
t_i	14	22	31	36	42	53	62	70	76	84
Вариант №4 ($N_i = 195$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	22	16	10	8	6	4	6	10	15	18
t_i	8	18	26	36	44	54	62	68	74	82
Вариант №5 ($N_i = 220$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	18	14	12	10	7	6	4	12	16	20
t_i	7	16	26	34	42	52	60	68	76	83
Вариант №6 ($N_i = 250$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	32	26	16	12	8	6	5	10	18	28
t_i	6	14	22	32	42	51	61	68	77	86
Вариант №7 ($N_i = 240$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	34	28	18	14	7	5	5	12	19	29
t_i	8	16	24	34	44	52	60	67	77	84
Вариант №8 ($N_i = 280$)										

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	44	38	26	18	10	6	5	14	19	32
t_i	10	17	26	34	42	50	60	69	78	86
Вариант №9 ($N_i = 260$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	40	34	28	16	12	8	6	16	22	36
t_i	9	16	26	35	44	52	61	69	77	85
Вариант №10 ($N_i = 240$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	36	34	26	14	10	8	4	18	24	38
t_i	6	16	24	34	42	51	60	68	76	84
Вариант №11 ($N_i = 340$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	46	38	32	24	8	10	12	18	28	48
t_i	8	18	26	35	42	52	61	69	77	86
Вариант №12 ($N_i = 380$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	66	48	42	26	12	8	16	22	26	58
t_i	9	18	24	34	42	50	61	68	76	84
Вариант №13 ($N_i = 360$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$\Delta N(t_i)$	62	46	40	28	16	10	18	28	34	60
t_i	10	19	27	36	44	50	60	67	76	86
Вариант №14 ($N_i = 340$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	64	48	44	26	14	8	16	27	38	66
t_i	7	16	25	34	44	52	60	68	77	85
Вариант №15 ($N_i = 320$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	60	52	46	22	16	7	14	28	36	62
t_i	8	14	24	34	43	52	62	69	76	86
Вариант №16 ($N_i = 300$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	54	50	44	32	14	8	16	26	32	60
t_i	6	15	24	32	40	50	58	66	76	84
Вариант №17 ($N_i = 400$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	74	60	56	34	16	8	18	24	38	68
t_i	10	18	26	34	42	50	57	64	72	84
Вариант №18 ($N_i = 420$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	76	63	58	36	17	9	20	26	48	78

t_i	10	18	26	34	42	50	57	64	72	84
Вариант №19 ($N_i = 440$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	78	66	56	46	27	12	21	28	46	76
t_i	10	18	26	34	42	50	57	64	72	84
Вариант №20 ($N_i = 460$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	82	68	58	48	29	18	27	38	48	78
t_i	9	17	26	36	44	52	58	66	75	84
Вариант №21 ($N_i = 560$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	102	88	68	56	34	19	28	48	58	96
t_i	12	19	28	38	48	56	68	76	85	94
Вариант №22 ($N_i = 540$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	100	85	66	58	38	18	26	44	56	98
t_i	10	18	28	36	44	55	64	76	84	94
Вариант №23 ($N_i = 560$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	106	88	69	59	36	19	28	48	57	99
t_i	9	18	26	34	44	53	62	70	80	90

Вариант №24 ($N_i = 500$)										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	104	82	60	52	31	12	23	42	54	91
t_i	8	18	25	34	42	52	60	70	78	86

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
2. Как определяется плотность распределения отказов?
3. Как определяется интенсивность отказов?
4. Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.15 Практическое занятие № 15. Определения вероятности безотказной работы лазера расчетно-аналитическим методом

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров.

Владеть:

- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Определение вероятности безотказной работы лазера расчетно-аналитическим методом проводят согласно приведенной ниже последовательности.

1. Параметр потока отказов в i -том интервале:

$$\omega_i = \frac{\Delta N(t_i)}{\Delta t_i}, \quad (2.1)$$

где $\Delta N(t_i)$ – число отказавших лазеров в промежуток времени Δt_i .

2. Средний параметр потока отказов:

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{\sum_{i=1}^n i_n}, \quad (2.2)$$

где $\sum_{i=1}^n i_n$ – суммарное количество интервалов.

3. Разность текущего и среднего параметров потока отказов:

$$\Delta \omega_i = \omega_i - \bar{\omega}. \quad (2.3)$$

4. Определение значения $-0,001 \cdot \bar{\omega} \cdot t$ (где t – конечная граница интервала наработки).

5. Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-0,001 \bar{\omega} \cdot t}, \quad (2.4)$$

Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 1.2.

Пример выполнения работы.

Всего проходили испытание 200 лазеров. Результаты испытаний приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты испытаний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	20	15	8	6	4	3	4	6	9	12
t_i	10	18	28	36	45	56	62	69	76	84

Полученные результаты сведем в таблицу 2.2.

Параметр	Интервал наработки									
	0 – 10	10 – 18	18 – 28	28 – 36	36 – 45	45 – 56	56 – 62	62 – 69	69 – 76	76 – 84
ω_i	2,0	1,88	0,8	0,75	0,44	0,33	0,67	0,86	1,29	1,5
$\sum_{i=1}^n \omega_i = 10,52$										
$\bar{\omega} = 1,052$										
$\Delta\omega_i$	0,948	0,828	-0,252	-0,302	-0,612	-0,722	-0,382	-0,192	0,238	0,448
$-0,001\bar{\omega} \cdot t$	-0,1052	-0,19	-0,30	-0,38	-0,47	-0,59	-0,65	-0,73	-0,80	-0,88
$P(t)$	0,9	0,83	0,74	0,68	0,63	0,55	0,52	0,48	0,45	0,42
Значения $P(t)$, полученные в практической работе №7										
$P(t)$	0,9	0,825	0,785	0,755	0,735	0,72	0,7	0,67	0,625	0,565

Как видно из таблицы, с увеличением времени наработки происходит наращивание разницы между полученными результатами. Первый способ

является упрощенным и поэтому его, как правило, используют для упрощенной оценки $P(t)$. Для более точной оценки $P(t)$ используют расчетно-аналитический метод.

Для наглядности построим зависимости $t - P(t)$ для обоих случаев (рисунок 2.1).

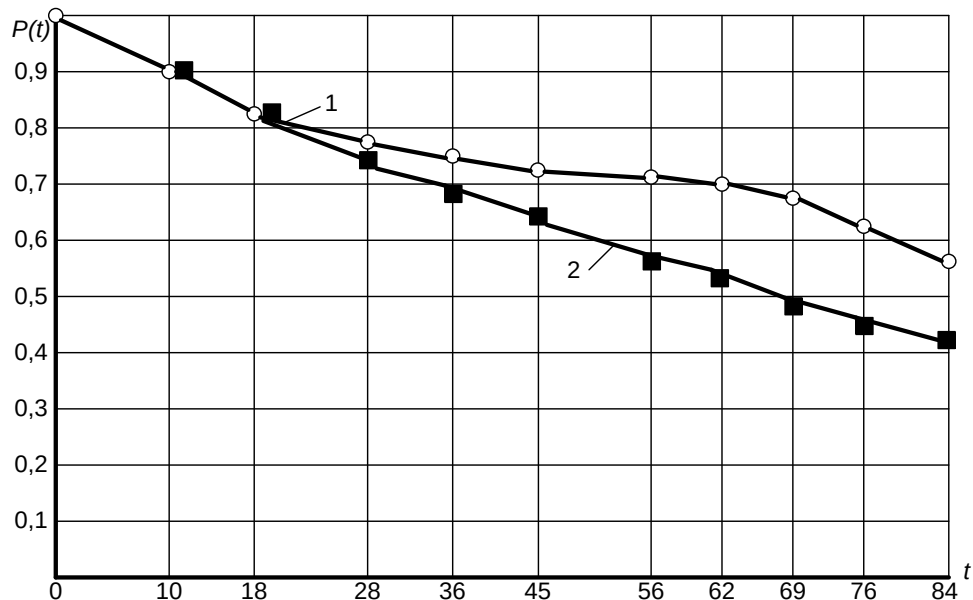


Рисунок 2.1 – Вероятность безотказной работы: 1 – упрощенный метод; 2 – расчетно-аналитический метод

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется параметр потока отказов в i -том интервале?
2. Как определяется средний параметр потока отказов?
3. Как определяется разность текущего и среднего параметров потока отказов?
4. Как определяется вероятность безотказной работы?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.16 Практическое занятие № 16. Определения статистических функций распределения отказов лазеров

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров.

Владеть:

- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

1. По заданным результатам выборки, без исключения грубых и систематических погрешностей, после создания вариационного ряда и разбивки выборки на интервалы (практические работы № 1 – 2) заполнить таблицы 3.1, 3.2.

Частость определяется по формуле:

$$\hat{p}_i = \frac{m_i}{n}. \quad (3.1)$$

Представить заданный статистический ряд в виде гистограммы в координатах «середина интервала-частость» (рисунок 3.1).

Определить среднеарифметическое $\bar{a}$ и среднеквадратическое отклонения σ .

ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Всего проходили испытание 200 лазеров; доверительная вероятность $P = 0,95$; доверительная ошибка $q = 0,05$. Результаты испытаний приведены в таблице .

Таблица 3.3 – Результаты испытаний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(t_i)$	20	15	8	6	4	3	4	6	9	12
t_i	10	18	28	36	45	56	62	69	76	84

Перед началом расчетов необходимо провести предварительные действия, т. е. представить исходные данные как результаты одинаковые по продолжительности интервалы времени. Для этого приведем все результаты к наименьшему интервалу времени: $\Delta N(\bar{t}_i) = \Delta N(t_i) \cdot \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_i}$.

Для нашего случая: $\Delta t_1 = 10$; $\Delta t_2 = 8$; $\Delta t_3 = 10$; $\Delta t_4 = 8$; $\Delta t_5 = 9$; $\Delta t_6 = 9$; $\Delta t_7 = 6$; $\Delta t_8 = 7$; $\Delta t_9 = 7$; $\Delta t_{10} = 8$.

Таким образом: $\Delta t_{\min} = \Delta t_7 = 6$.

$$\begin{aligned} \Delta N(\bar{t}_1) &= 20 \cdot \frac{6}{10} = 12 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_2) = 15 \cdot \frac{6}{8} = 11,25 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_3) = 8 \cdot \frac{6}{10} = 4,8 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_4) = 6 \cdot \frac{6}{8} = 4,5 \quad ; \\ \Delta N(\bar{t}_5) &= 4 \cdot \frac{6}{9} = 2,67 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_6) = 3 \cdot \frac{6}{9} = 2 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_7) = 4 \cdot \frac{6}{6} = 4 \quad ; \quad \Delta N(\bar{t}_8) = 6 \cdot \frac{6}{7} = 5,14 \quad ; \\ \Delta N(\bar{t}_9) &= 9 \cdot \frac{6}{7} = 7,71; \quad \Delta N(\bar{t}_{10}) = 12 \cdot \frac{6}{8} = 9. \end{aligned}$$

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 3.4 – Результаты испытаний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta N(\bar{t}_i)$	12	11,25	4,8	4,5	2,67	2	4	5,14	7,71	9
$\sum \Delta N(\bar{t}_i) = 63,07$										
Δt_i	10	8	10	8	9	9	6	7	7	8

Заполним таблицу 3.5. Для этого определим частоту по формуле 3.1:

$$\text{Для 1-го интервала: } \hat{p}_1 = \frac{\Delta N(\hat{t}_1)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{12}{63,07} = 0,19;$$

$$\text{Для 2-го интервала: } \hat{p}_2 = \frac{\Delta N(\hat{t}_2)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{11,25}{63,07} = 0,18;$$

$$\text{Для 3-го интервала: } \hat{p}_3 = \frac{\Delta N(\hat{t}_3)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4,8}{63,07} = 0,08;$$

$$\text{Для 4-го интервала: } \hat{p}_4 = \frac{\Delta N(\hat{t}_4)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4,5}{63,07} = 0,07;$$

$$\text{Для 5-го интервала: } \hat{p}_5 = \frac{\Delta N(\hat{t}_5)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{2,67}{63,07} = 0,04;$$

$$\text{Для 6-го интервала: } \hat{p}_6 = \frac{\Delta N(\hat{t}_6)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{2}{63,07} = 0,03;$$

$$\text{Для 7-го интервала: } \hat{p}_7 = \frac{\Delta N(\hat{t}_7)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{4}{63,07} = 0,06;$$

$$\text{Для 8-го интервала: } \hat{p}_8 = \frac{\Delta N(\hat{t}_8)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{5,14}{63,07} = 0,08;$$

$$\text{Для 9-го интервала: } \hat{p}_9 = \frac{\Delta N(\hat{t}_9)}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{7,71}{63,07} = 0,12;$$

$$\text{Для 10-го интервала: } \hat{p}_{10} = \frac{\Delta N(\hat{t}_{10})}{\Sigma \Delta N(\hat{t}_i)} = \frac{9}{63,07} = 0,15.$$

Таблица 3.5 – Промежуточные значения интервального ряда

№ п/п	Границы интервалов	Середины интервалов $\hat{t}_{ic}$	Частота попадания в интервалы $\Delta N(\hat{t}_i)$	Статистическая вероятность (частость) $\hat{p}_i$
1	0 – 10	5	12	0,19
2	10 – 18	14	11,25	0,18
3	18 – 28	23	4,8	0,08
4	28 – 36	32	4,5	0,07

5	36 – 45	40,5	2,67	0,04
6	45 – 56	50,5	2	0,03
7	56 – 62	59	4	0,06
8	62 – 69	65,5	5,14	0,08
9	69 – 76	72,5	7,71	0,12
10	76 – 84	80	9	0,15
		$\bar{t}=42$	$\sum 63,07$	$\sum 1,0$

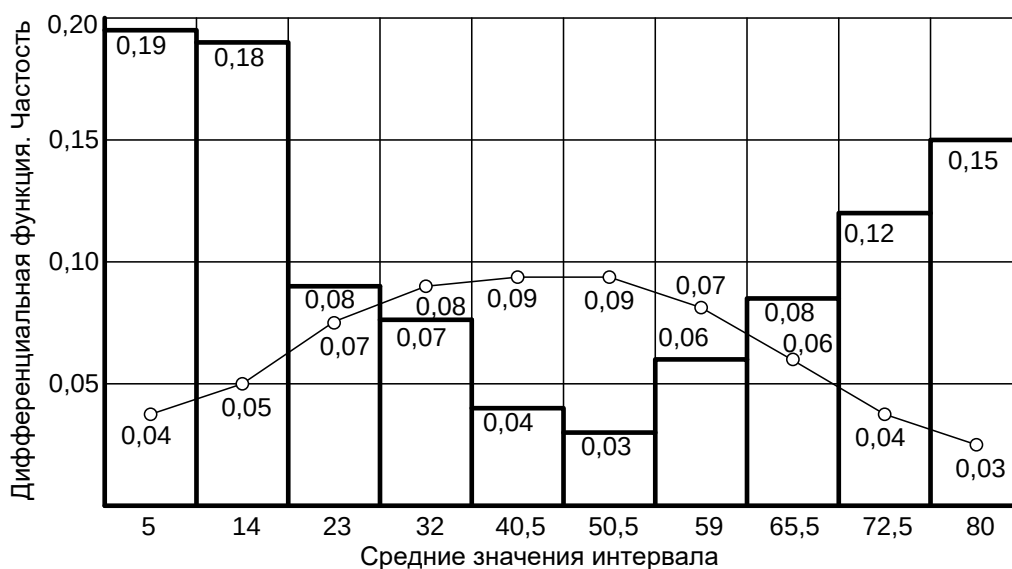


Рисунок 3.1 – Гистограмма результатов измерений кривая дифференциальной функции

Определим среднее арифметическое значение событий:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum t_i = \frac{10 + 18 + 28 + 36 + 45 + 56 + 62 + 69 + 76 + 84}{10} = 42$$

Определим среднее квадратическое средин интервалов:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (t_{ic} - \bar{t})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{9} \left[(5 - 42)^2 + (14 - 42)^2 + (23 - 42)^2 + (32 - 42)^2 + (40,5 - 42)^2 \right. \\ &\quad \left. + (50,5 - 42)^2 + (59 - 42)^2 + (65,5 - 42)^2 + (72,5 - 42)^2 + (80 - 42)^2 \right]} \\ &= \sqrt{\frac{1}{9} \left[1369 + 784 + 361 + 100 + 2,25 + 72,25 + 289 + 552,25 + \right. \\ &\quad \left. + 930,25 + 1444 \right]} = 25,6 \end{aligned}$$

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется частота?
2. Как приводятся все результаты к наименьшему интервалу времени?
3. Как определяется среднее арифметическое значение?
4. Как определяется среднее квадратическое значение?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.17 Практическое занятие № 17. Определение теоретической зависимости распределения результатов упрочнения методом наименьших квадратов

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров.

Владеть:

- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомых переменных. Он может использоваться для «решения» переопределенных систем уравнений (когда количество уравнений превышает количество неизвестных), для поиска решения в случае обычных (не переопределенных) нелинейных систем уравнений, для аппроксимации точечных значений некоторой функции. МНК является одним из базовых методов регрессионного анализа для оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным.

Методом наименьших квадратов можно найти зависимость типа:

$$y = ax + b. \quad (12.1)$$

Для определения зависимости необходимо решить систему:

$$\begin{cases} a \sum x_i + bn = \sum y_i \\ a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \end{cases}, \quad (12.2)$$

где n — количество результатов.

ПРИМЕР

Получены результаты 20 измерений искомой величины. Результаты измерений по возрастанию значений и частота их проявления показаны в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Результаты наблюдений

№	1	2	3	4	5	6	7	8
x	1	2	3	4	5	6	7	8
y	23,0	23,1	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7

m_i	1	5	6	3	2	1	1	1
-------	---	---	---	---	---	---	---	---

Составим расчетную таблицу (частота не учитывается).

Таблица 12.2 – Расчетная таблица

№	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
x	1	2	3	4	5	6	7	8	36
y	23,0	23,1	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7	186,8
x^2	1	4	9	16	25	36	49	64	204
xy	23,0	46,2	69,6	93,2	117	141	165,2	189,6	844,8

Получаем систему:

$$\begin{cases} 36a + 8b = 186,8 \\ 204a + 36b = 844,8 \end{cases}$$

Решая систему, находим: $a = 0,1$; $b = 22,9$.

Получаем функцию: $y = 0,1x + 22,9$.

Определяем точки для построения опытной и теоретической кривых и заносим в таблицу 12.3.

Таблица 12.3 – Точки для построения опытной и теоретической кривых

x	1	2	3	4	5	6	7	8
y_o	23,0	23,1	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7
y_m	23,0	23,1	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7

Как видно из таблицы 12.3 точки для построения опытной и теоретической кривых совпали по значениям. Следовательно, функция $y = 0,1x + 22,9$, найденная при помощи метода наименьших квадратов определена верно.

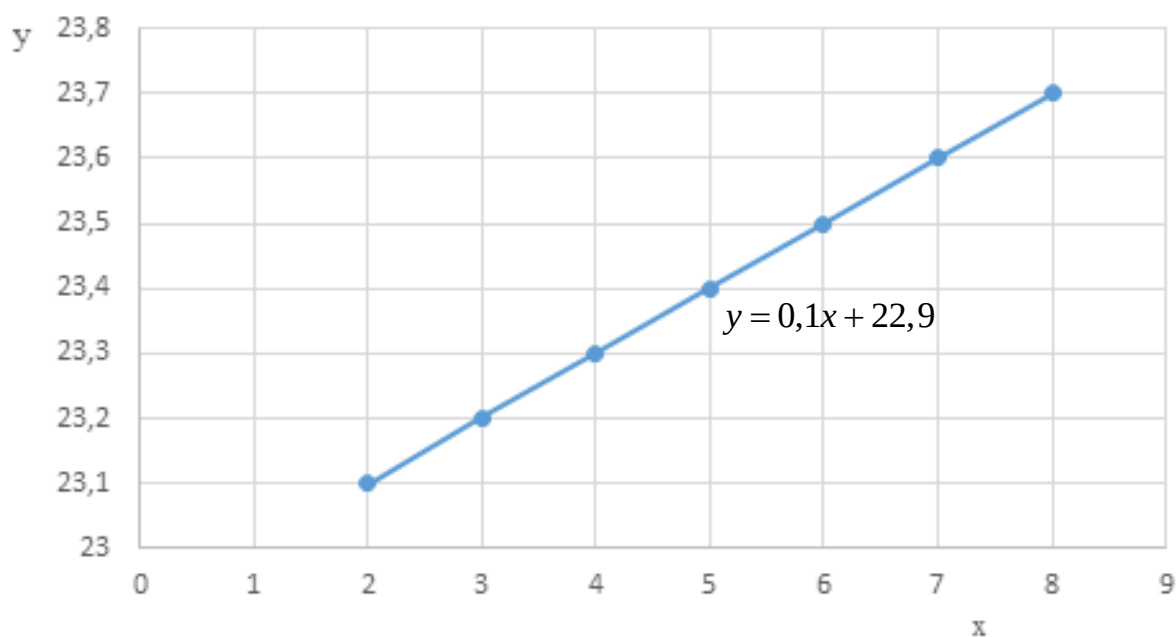


Рисунок 12.1 – Опытная и теоретическая кривые

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения практических работ (варианты 1 – 15)

№ варианта														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Доверительная ошибка (уровень значимости)														
$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$	$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$	$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$
Доверительная вероятность														
$P = 0,80$	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,98$	$P = 0,99$	$P = 0,80$	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,98$	$P = 0,99$	$P = 0,80$	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,98$	$P = 0,99$
Значения результатов выборки														
1,22	2,88	3,46	4,31	5,14	6,02	7,78	8,50	9,82	0,36	1,62	2,46	3,08	4,64	5,50
1,28	2,92	3,60	4,30	5,19	6,04	7,85	8,58	9,88	0,48	1,70	2,48	3,10	4,66	5,56
1,20	2,78	3,48	4,44	5,20	6,06	7,83	8,52	9,89	0,50	1,68	2,52	3,14	4,68	5,58
1,32	2,80	3,47	4,38	5,28	6,03	7,82	8,56	9,90	0,46	1,66	2,54	3,18	4,72	5,64
1,34	2,84	3,52	4,39	5,22	6,16	7,92	8,57	9,96	0,48	1,64	2,60	3,22	4,78	5,62
1,28	2,82	3,54	4,40	5,21	6,14	7,80	8,64	9,94	0,42	1,76	2,58	3,20	4,76	5,60
1,26	2,86	3,56	4,42	5,26	6,12	7,84	8,62	9,92	0,43	1,72	2,59	3,19	4,66	5,62
1,24	2,84	3,55	4,36	5,29	6,10	7,85	8,60	9,84	0,45	1,74	2,54	3,16	4,70	5,58
1,26	2,86	3,50	4,35	5,22	6,09	7,86	8,55	9,90	0,44	1,72	2,55	3,20	4,73	5,56

1,28	2,90	3,49	4,32	5,23	6,08	7,88	8,54	9,89	0,42	1,69	2,53	3,10	4,74	5,55
1,28	2,84	3,52	4,33	5,26	6,07	7,90	8,53	9,88	0,45	1,70	2,53	3,13	4,73	5,52
1,30	2,85	3,53	4,36	5,21	6,10	7,86	8,57	9,86	0,44	1,68	2,52	3,14	4,66	5,54
1,26	2,87	3,55	4,34	5,24	6,08	7,84	8,58	9,84	0,43	1,64	2,50	3,15	4,68	5,56
1,30	2,89	3,54	4,36	5,25	6,07	7,86	8,56	9,88	0,38	1,65	2,49	3,16	4,72	5,55
1,28	2,91	3,56	4,35	5,20	6,06	7,88	8,60	9,90	0,40	1,66	2,53	3,14	4,73	5,54
1,26	2,85	3,58	4,38	5,21	6,09	7,84	8,56	9,89	0,44	1,68	2,54	3,15	4,75	5,52
1,26	2,84	3,56	4,37	5,22	6,10	7,85	8,57	9,86	0,43	1,67	2,56	3,17	4,74	5,60
1,24	2,83	3,55	4,39	5,24	6,08	7,83	8,58	9,84	0,45	1,64	2,54	3,18	4,72	5,58
1,26	2,86	3,54	4,38	5,23	6,07	7,84	8,56	9,86	0,44	1,68	2,55	3,14	4,74	5,56
1,24	2,85	3,50	4,37	5,22	6,09	7,86	8,55	9,87	0,42	1,69	2,53	3,16	4,73	5,54

Таблица 2 – Исходные данные для выполнения практических работ
(варианты 16 – 25)

№ варианта									
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Доверительная ошибка (уровень значимости)									
$q =$ 0,20	$q =$ 0,10	$q =$ 0,05	$q =$ 0,02	$q =$ 0,01	$q =$ 0,20	$q =$ 0,10	$q =$ 0,05	$q =$ 0,02	$q =$ 0,01
Доверительная вероятность									
$P =$ 0,80	$P =$ 0,90	$P =$ 0,95	$P =$ 0,98	$P =$ 0,99	$P =$ 0,80	$P =$ 0,90	$P =$ 0,95	$P =$ 0,98	$P =$ 0,99
Значения результатов выборки									
14,34	22,06	36,62	45,48	58,82	63,32	77,54	85,76	94,02	102,12
14,36	22,10	36,68	45,52	58,90	63,38	77,62	85,78	94,06	102,26
14,40	22,14	36,72	45,64	58,88	63,34	77,56	85,90	94,04	102,18
14,50	22,22	36,78	45,58	58,86	63,40	77,62	85,84	94,16	102,20
14,48	22,20	36,70	45,62	58,89	63,45	77,58	85,81	94,10	102,12
14,36	22,18	36,68	45,60	58,84	63,36	77,60	85,92	94,14	102,26
14,42	22,14	36,72	45,56	58,92	63,40	77,65	85,90	94,15	102,28
14,44	22,12	36,70	45,54	58,90	63,44	77,70	85,84	94,18	102,23
14,46	22,16	36,74	45,56	58,98	63,46	77,60	85,88	94,14	102,14
14,42	22,14	36,76	45,52	58,88	63,48	77,64	85,78	94,08	102,20

14,44	22,18	36,76	45,54	58,96	63,38	77,56	85,80	94,12	102,18
14,38	22,20	36,64	45,58	58,88	63,44	77,68	85,83	94,06	102,20
14,40	22,08	36,72	45,62	58,90	63,40	77,61	85,88	94,04	102,21
14,42	22,09	36,74	45,60	58,83	63,42	77,64	85,86	94,10	102,16
14,44	22,14	36,64	45,49	58,94	63,36	77,58	85,80	94,12	102,22
14,46	22,12	36,72	45,51	58,90	63,40	77,68	85,84	94,07	102,20
14,48	22,18	36,73	45,56	58,86	63,38	77,66	85,82	94,12	102,16
14,44	22,15	36,76	45,54	58,90	63,39	77,62	85,86	94,10	102,22
14,42	22,12	36,71	45,50	58,94	63,42	77,64	85,84	94,04	102,20
14,42	22,14	36,74	45,54	58,90	63,40	77,62	85,84	94,10	102,14

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. На чем основан метод наименьших квадратов?
2. Какие принципы решения системы уравнений?
3. Область применения метода наименьших квадратов.
4. Что такое регрессионный анализ?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

2.18 Практическое занятие № 18. Разработка управляющей программы для автоматического управления лазерной резкой

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов резки материалов непрерывным излучением лазера.

2. Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Знать:

- основные виды лазеров и физические основы лазерного излучения.

Уметь:

- определять область применения различных видов лазеров.

Владеть:

- знаниями основных конструктивных элементов и особенностей конструкции лазеров.

3. Актуальность темы

В настоящее время методы лазерной обработки прочно занимают свое место среди других промышленных технологий обработки материалов и область их применения постоянно расширяется.

4. Теоретическая часть

Режим работы устройства задается при помощи вспомогательных функций G , назначение которых приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Вспомогательные функции

Код	Назначение	Код	Назначение
G01	Линейная интерполяция	G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки	G04	Выдержка времени
G17	Выбор плоскости XY	G18	Выбор плоскости XZ
G19	Выбор плоскости YZ	G40	Отмена коррекции
G41	Коррекция перемещения по оси по часовой стрелке	G42	Коррекция перемещения по оси против часовой стрелки
G43	Коррекция перемещения по осям по часовой стрелке	G44	Коррекция перемещения по осям против часовой стрелки

Функция G всегда задается непосредственно после номера кадра. Задать две функции G в одном кадре нельзя.

Скорость подачи рабочего органа программируется при помощи адреса F , количество разрядов в адресе – 4.

Первый разряд:

0 – автоматическое определение необходимости разгона или торможения;

4 – торможение в конце кадра до фиксированной величины (240 мм/мин) и разгон в следующем кадре до прежней скорости в случае отсутствия в нем кода подачи.

Второй разряд: десятичный множитель, величина которого на 3 больше, чем количество целых чисел в величине подачи (мм/мин).

Третий и четвертый разряды: мантисса кода подачи.

Пример:

$F0310$ – величина подачи $0,10 \times 10^{3-3} = 0,10$ мм/мин (минимальная рабочая подача);

$F0465$ – величина подачи $0,65 \times 10^{4-3} = 6,5$ мм/мин;

$F0525$ – величина подачи $0,25 \times 10^{5-3} = 25$ мм/мин;

$F0675$ – величина подачи $0,75 \times 10^{6-3} = 750$ мм/мин;

$F0712$ – величина подачи $0,12 \times 10^{7-3} = 1200$ мм/мин (максимальная рабочая подача);

$F0718$ – величина подачи $0,18 \times 10^{7-3} = 1800$ мм/мин (быстрый ход);

$F0724$ – величина подачи $0,24 \times 10^{7-3} = 2400$ мм/мин (быстрый ход).

В таблице 2 приведены значения подач, применяемых в устройствах. Максимальная подача при одновременной работе двух координат – 1200 мм/мин, при одновременной работе трех координат – 800 мм/мин. При перемещениях меньше 50 мм быстрый ход программировать нельзя.

Таблица 2 – Характеристики подач

Диапазоны изменения подачи, мм/мин	Дискретность изменения	Код множителя (второй разряд F)	Пределы изменения мантиссы (третий и четвертый разряды)
0,1 – 0,9	Через 0,1	3	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
1,0 – 9,9	Через 0,1	4	10, 11, 12, 13, 14, ... 97, 98, 99
10 – 99	Через 1,0	5	10, 11, 12, 13, 14, ... 97, 98, 99
100 – 999	Через 10	6	10, 11, 12, 13, 14, ... 97, 98, 99
1000 – 2400	Через 100	7	10, 11, 12, 13, 14, ... 97, 98, 99

В таблице 3 приведены технологические команды

Таблица 3 – Технологические команды

Код	Назначение	Код	Назначение
<i>M00</i>	Безусловный останов. Продолжение программы нажатием кнопки «РАБОТА».	<i>M01</i>	Останов с подтверждением о необходимости с пульта управления. В случае отсутствия подтверждения влияния на программу не оказывает. Продолжение программы нажатием кнопки «РАБОТА».
<i>M02</i>	Конец программы. Для продолжения работы по следующей программе необходимо осуществить сброс.	<i>M03</i>	Включение рабочего органа.
<i>M05</i>	Включение рабочего органа и охлаждения.	<i>M013</i>	Отключение рабочего органа и охлаждения.

В используемой программе применяются символы, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Символы программы

Символ	Назначение	Символ	Назначение
%	Начало программы	0 – 9	Цифры 0 – 9
<i>i</i>	Начало координат дуги <i>XO</i>	<i>j</i>	Начало координат дуги <i>YO</i>
<i>K</i>	Начало координат дуги <i>ZO</i>	<i>F</i>	Величина подачи
<i>G</i>	Подготовительная функция	<i>L</i>	Коррекция
<i>M</i>	Технологическая команда	<i>N</i>	Номер кадра
<i>S</i>	Технологическая команда	<i>T</i>	Технологическая команда
<i>X</i>	Перемещение по координате <i>x</i>	<i>Y</i>	Перемещение по координате <i>y</i>
<i>Z</i>	Перемещение по координате <i>z</i>	-	Знак перемещения «минус»
+	Знак перемещения «плюс»	<i>LF</i>	Конец кадра

Перемещение по оси *X* кодируется символом *X*, количество разрядов в адресе 7. Первый после адреса разряд отводится для кодирования направления (+ или –) перемещения. Последующие шесть разрядов предназначены для кодирования величины перемещения.

Пример: Перемещение в положительном направлении на величину 2158 дискрет (импульсов) должно быть записано следующим образом: *N003X+002158LF*. В данном кадре записано перемещение на 21,58 мм.

При работе на подачах от 0 до 800 мм/мин возможно одновременное перемещение по двум или трем координатам.

Выдержка времени (фиктивное перемещение) программируется путем задания кадра с перемещением по определенной оси, содержащего функцию G04. Время выдержки определяется заданной величиной подачи и количеством дискрет (импульсов), запрограммированных в кадре. При этом задаваемая информация будет соответствовать времени паузы в сотых долях секунды.

Пример: Задать время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X с подачей 60 мм/мин. Данное действие должно быть записано следующим образом: *N007G04X+000500F0560LF*.

В случае неточности работы устройства следует задать коррекцию движения рабочего органа. Для задания коррекции траектории перемещения используется адрес L . Число разрядов в адресе – 4. Первый разряд указывает на вид коррекции (таблица 5).

Таблица 5 – Виды коррекции

Код первого разряда	Назначение коррекции	Код первого разряда	Назначение коррекции
1	Коррекция по оси X	2	Коррекция по оси Y
3	Коррекция по оси Z	4	Коррекция по осям X и Y
5	Коррекция по осям X и Z	6	Коррекция по осям Y и Z

Разряды 2 – 4 содержат информацию о величине коррекции перемещения в тысячных долях миллиметра.

Пример: Произвести коррекцию перемещения на 120 мм по оси X против часовой стрелки на величину 0,145 мм. Данное действие должно быть записано следующим образом: *N032G42X+012000F0724L1145LF*.

Отмена коррекции производится функцией $G40$, задаваемой в одном кадре с функцией коррекции L , которую необходимо отменить.

Пример: *N032G40X+012000F0724L1145LF*.

Линейная коррекция по осям может быть использована для смещения нуля отсчета.

Пример: Сместить нуль отсчета по часовой стрелке на 0,170 мм по оси X и на 0,180 мм по оси Y . Данное действие должно быть записано следующим образом:

$N001G01F0680LF$

$N002G43X+000000L4170LF$

$N003G43Y+000000L4180LF.$

При программировании круговой интерполяции в одном кадре может быть задано не более одной четверти окружности. Начало координат при программировании дуги всегда находится в центре окружности, т. е. используется местная система координат.

При круговой интерполяции в программе задаются следующие величины:

- плоскость обработки $G17 (XY)$, $G18 (XZ)$ или $G19 (YZ)$;
- функция, определяющая вид работы: $G02$ – по часовой стрелке, $G03$ – против часовой стрелки;
- координаты начальной точки дуги относительно ее центра: i – координата X , j – координата Y , k – координата Z ;
- приращения по координатам с учетом знака.

Составим программу перемещений при круговой интерполяции в плоскости XY согласно рисунку 1.

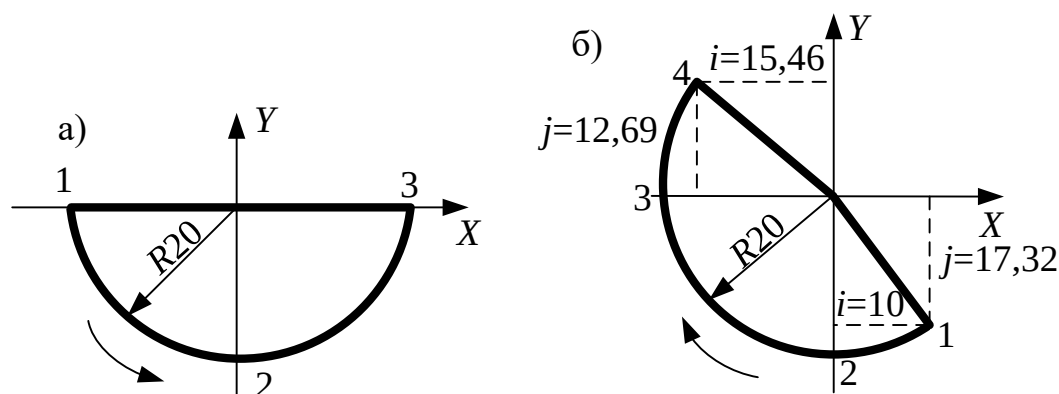


Рисунок 1 – Программирование перемещений при круговой интерполяции в плоскости XY

Программирование перемещений согласно рисунку 1а будет выглядеть следующим образом:

1 – 2: $N003G03X-002000i+000000j+002000F0540LF$

2 – 3: $N004G03X+000000i-002000j+002000F0540LF$.

Программа перемещений по рисунку 1б:

1 – 2: $N003G02X+001000i-001732j+001000F0540LF$

2 – 3: $N004G02X+000000i-002000j+002000F0540LF$

3 – 4: $N005G02X-002000i+000000j+000454F0540LF$.

Программирование движения рабочего органа устройства осуществляется в следующей последовательности:

1. Старт программы.
2. Включение рабочего органа.
3. Коррекция нуля отсчета.
4. Перемещение по контуру изделия при разных подачах.
5. Быстрый отвод в исходную точку.
6. Выключение рабочего органа.
7. Конец программы.

Задания:

Пример.

Программа составляется для изделия, проходящего предпродажную подготовку. Поэтому необходимо использовать наибольшее количество функций (разные подачи, коррекцию нуля отсчета и т. п.).

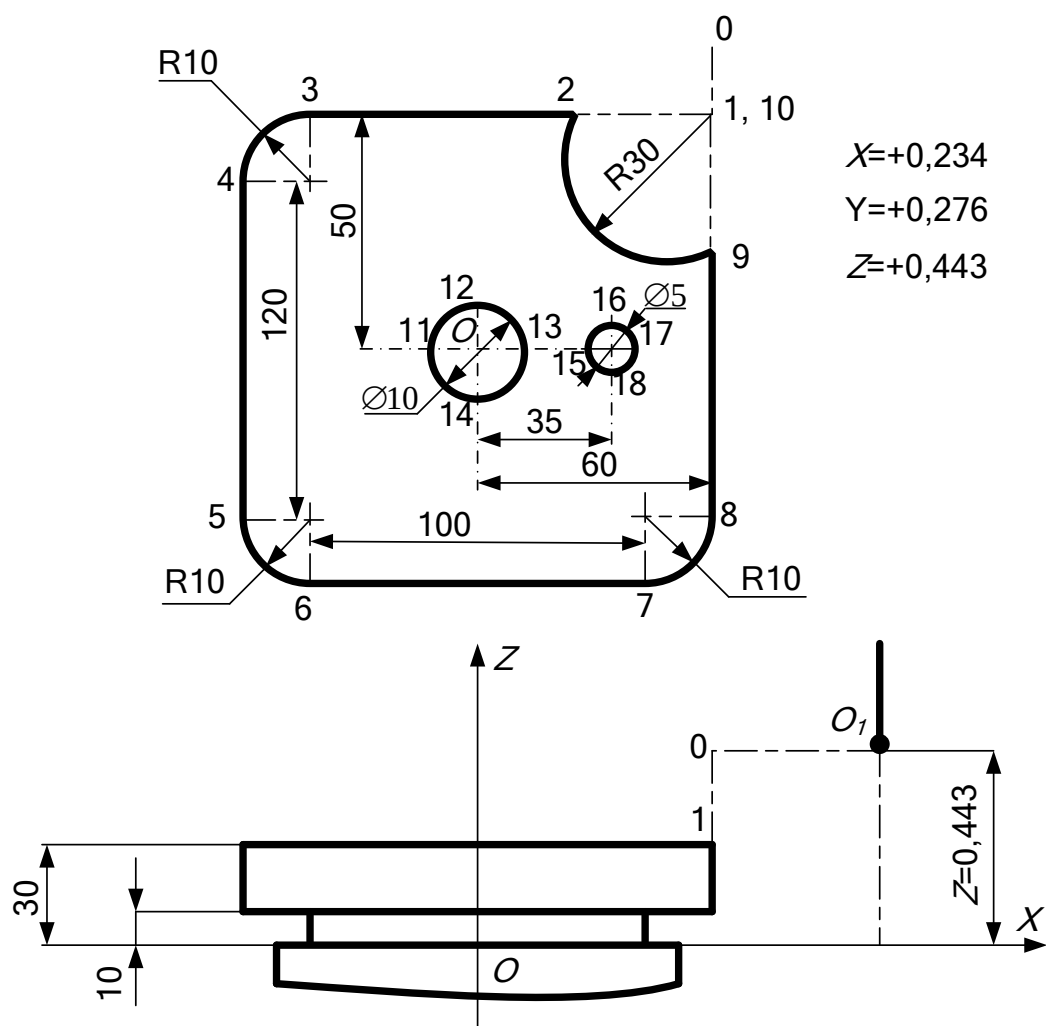


Рисунок 2 – Траектория движения рабочего органа

Таблица 6 – Расчетная карта

№ точки	Координаты, мм			№ кадра	Приращение X		Приращение Y		Приращение Z	
	X	Y	Z		ΔX , мм	Импульсы	ΔY , мм	Импульсы	ΔZ , мм	Импульсы
0	0,234	0,276	0,443	N003	0	0	0	0	-0,443	-0000443
0	0,234	0,276	0	N005	0	0	-0,276	-0000276	0	0
0	0,234	0	0	N007	-0,234	-0000234	0	0	0	0
1	0	0	0	N009	-30	-0030000	0	0	0	0
2	-30	0	0	N011	-80	-0080000	0	0	0	0
3	-110	0	0	N013	-10	-0010000	-10	-0010000	0	0
4	-120	-10	0	N015	0	0	-120	-0120000	0	0
5	-120	-130	0	N017	+10	+0010000	-10	-0010000	0	0
6	-110	-140	0	N019	+100	+0100000	0	0	0	0
7	-10	-140	0	N021	+10	+0010000	+10	+0010000	0	0

8	0	-130	0	N023	0	+0080000	0	0	0	0
9	-30	+30	0	N025	-30	-0030000	+30	+0030000	0	0
2	-30	0	0	N027	+30	+0030000	0	0	0	0
1	0	0	0	N029	-65	-0065000	-50	-00500000	0	0
11	-65	-50	0	N031	+5	+0005000	+5	+0005000	0	0
12	-60	-45	0	N033	+5	+0005000	-5	-0005000	0	0
13	-55	-50	0	N035	-5	-0005000	-5	-0005000	0	0
14	-60	-55	0	N037	-5	-0005000	+5	+0005000	0	0
11	-65	-50	0	N039	+37,5	+0037500	0	0	0	0
15	-27,5	-50	0	N041	+2,5	+0002500	+2,5	+0002500	0	0
16	-25	-47,5	0	N043	+2,5	+0002500	-2,5	-0002500	0	0
17	-22,5	-50	0	N045	-2,5	-0002500	-2,5	-0002500	0	0
18	-25	-52,5	0	N047	-2,5	-0002500	+2,5	+0002500	0	0
15	-27,5	-50	0	N049	+27,5	+0027500	+50	+0050000	0	0
1	0	0	0							
Выдержка времени после каждого рабочего хода										

Составление программы.

N001% (% – Начало программы)

N002M03 (M03 –Включение рабочего органа)

N003Z-0000443LF (перемещение по координате Z)

N004G04Z+000500F0560LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси Z с подачей 60 мм/мин)

N005Y-0000276LF (перемещение по координате Y)

N006G04Y+000500F0560LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси Y с подачей 60 мм/мин)

N007X-0000234LF (перемещение по координате X)

N008G04X+000500F0560LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X с подачей 60 мм/мин)

N009X-0030000F0525LF (перемещение по координате X на 30 мм с подачей 25 мм/мин)

N010G04X+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X)

N011X-0080000F0525LF (перемещение по координате X на 80 мм с подачей 25 мм/мин)

N012G04X+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X)

N013G03XY-001000i-001000j+F0525LF (круговая интерполяция в плоскости XY с подачей 25 мм/мин)

N014G04XY+000500LF (время выдержки 5 секунд после круговой интерполяции в плоскости XY)

N015Y-0120000F0525LF (перемещение по координате Y на 120 мм с подачей 25 мм/мин)

N016G04Y+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси Y)

N017G03XY+001000i-001000j+F0525LF (круговая интерполяция в плоскости XY с подачей 25 мм/мин)

N018G04XY+000500LF (время выдержки 5 секунд после круговой интерполяции в плоскости XY)

N019X-0100000F0525LF (перемещение по координате X на 100 мм с подачей 25 мм/мин)

N020G04X+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X)

N021G03XY+001000i+001000j+F0525LF (круговая интерполяция в плоскости XY с подачей 25 мм/мин)

N022G04XY+000500LF (время выдержки 5 секунд после круговой интерполяции в плоскости XY)

N023X+0080000F0525LF (перемещение по координате X на 80 мм с подачей 25 мм/мин)

N024G04X+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X)

N025G03XY-003000i+003000j+F0525LF (круговая интерполяция в плоскости XY с подачей 25 мм/мин)

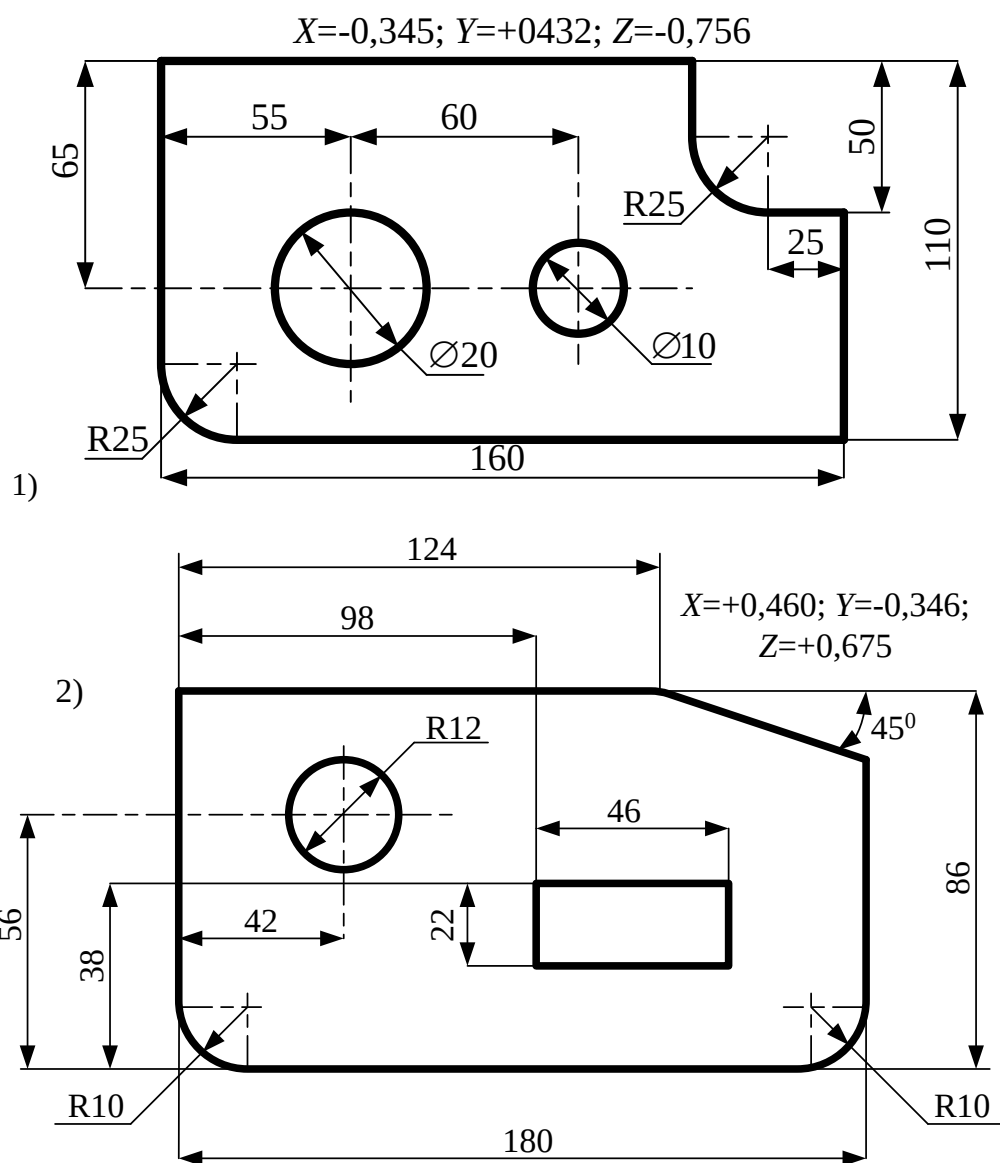
N026G04XY+000500LF (время выдержки 5 секунд после круговой интерполяции в плоскости XY)

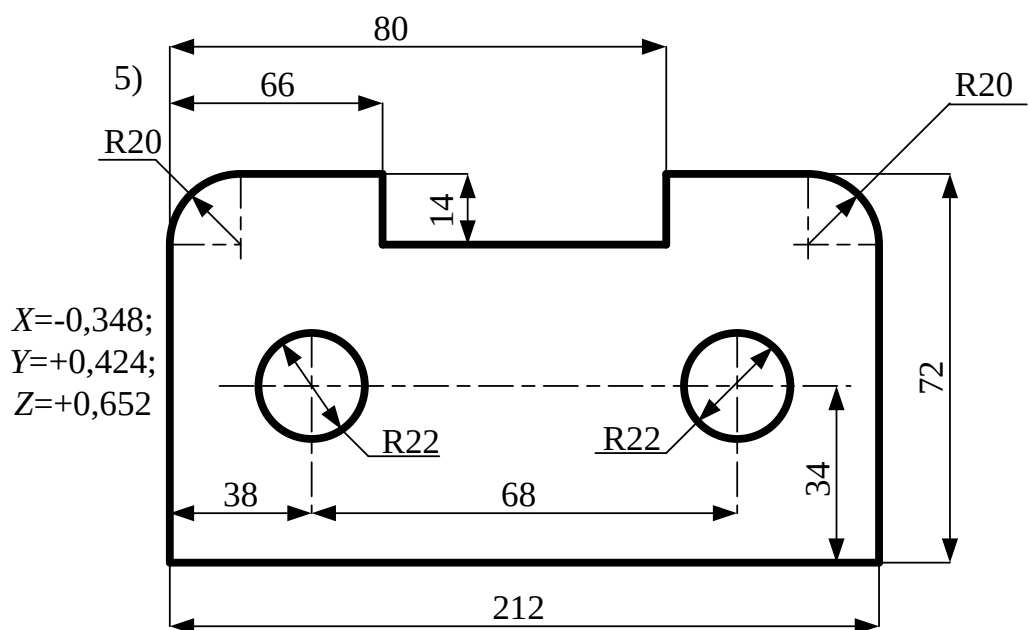
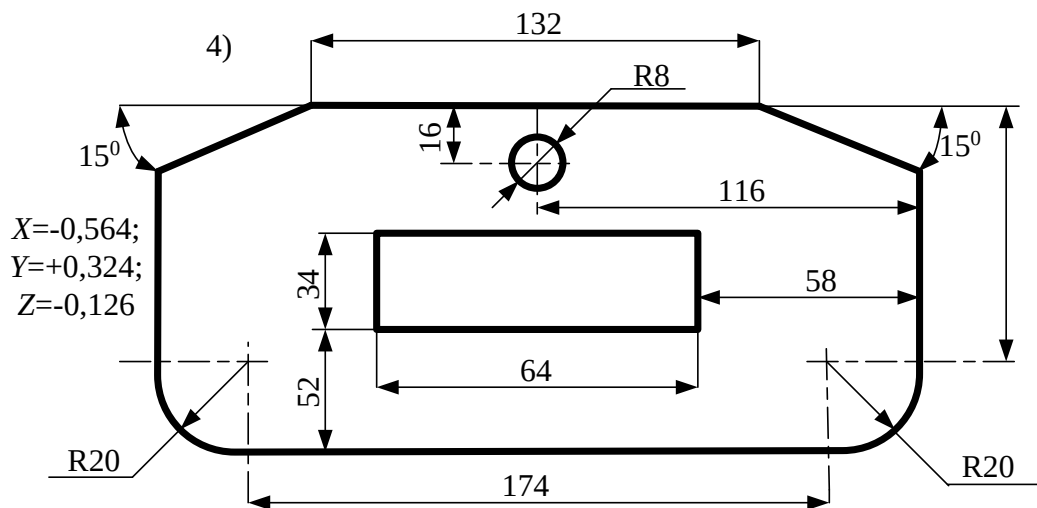
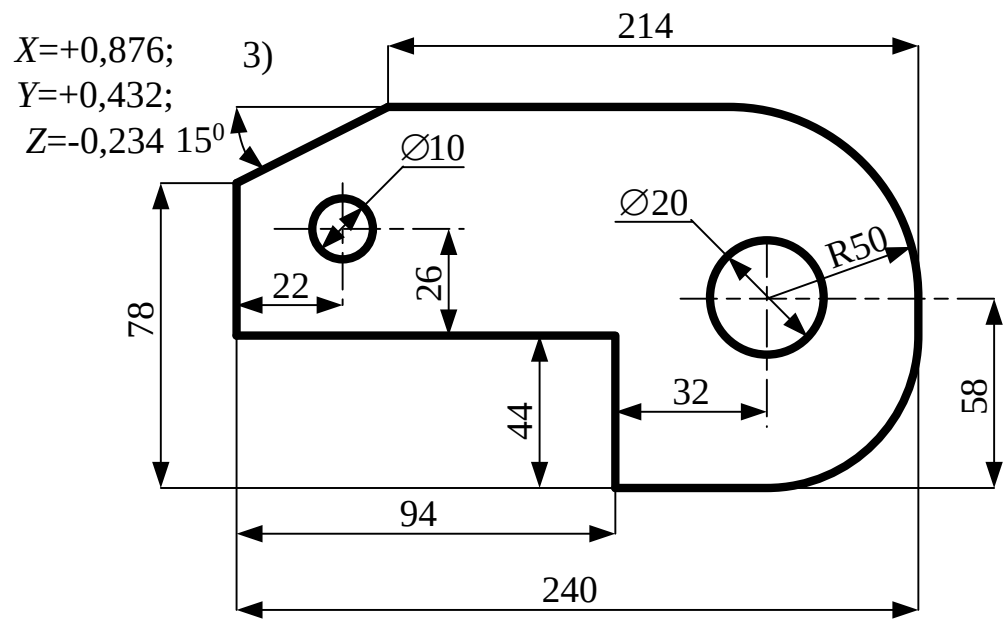
N027X+0030000F0525LF (перемещение по координате X на 30 мм с подачей 25 мм/мин)

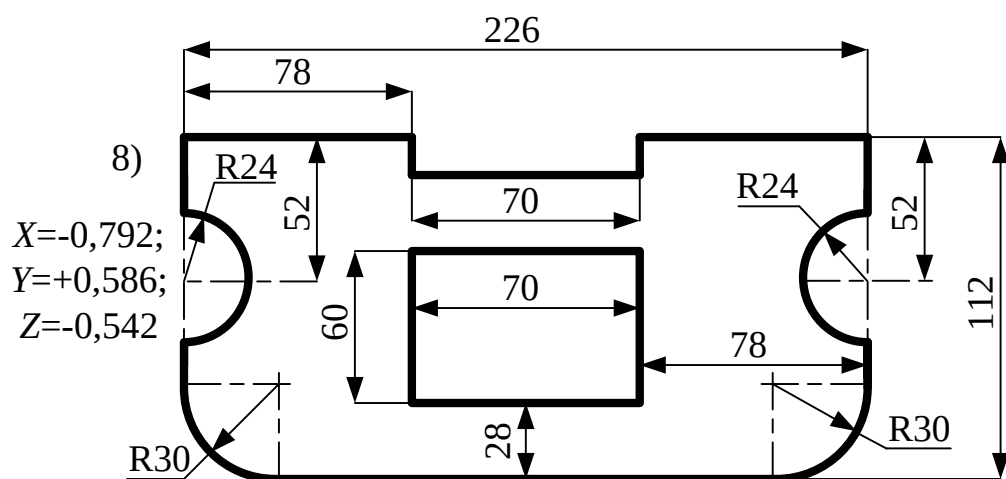
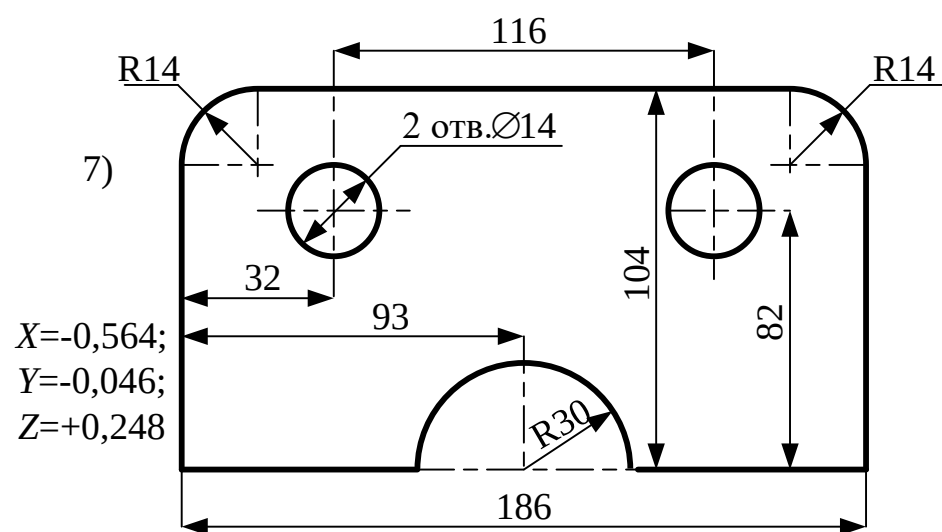
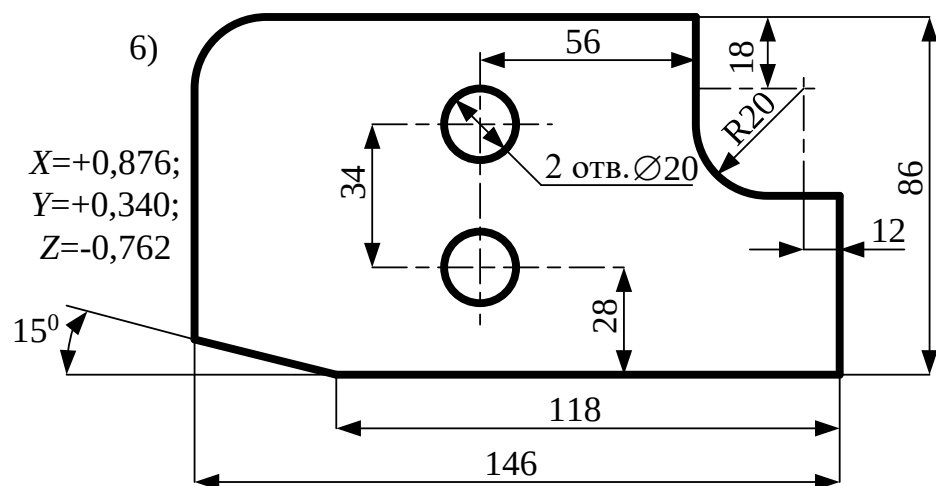
N028G04X+000500LF (время выдержки 5 секунд после перемещения по оси X)

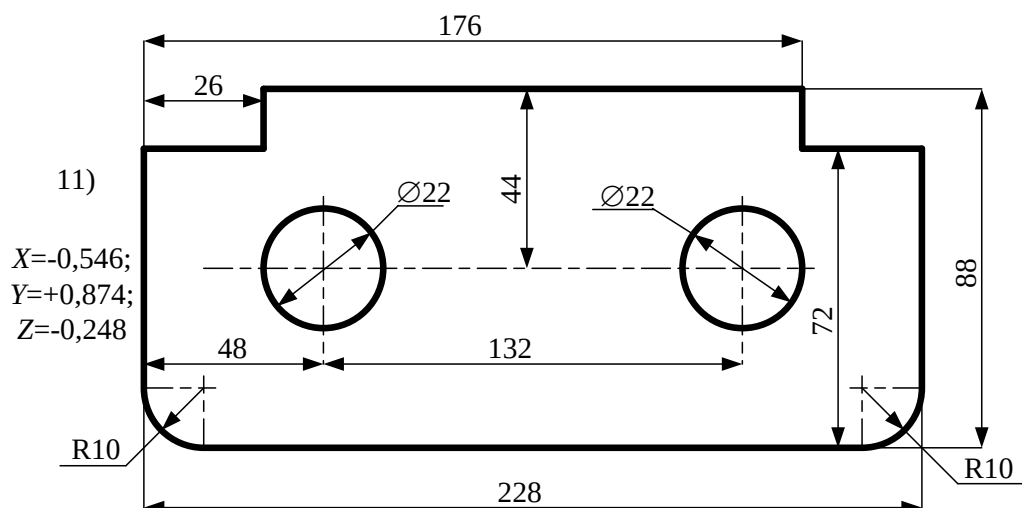
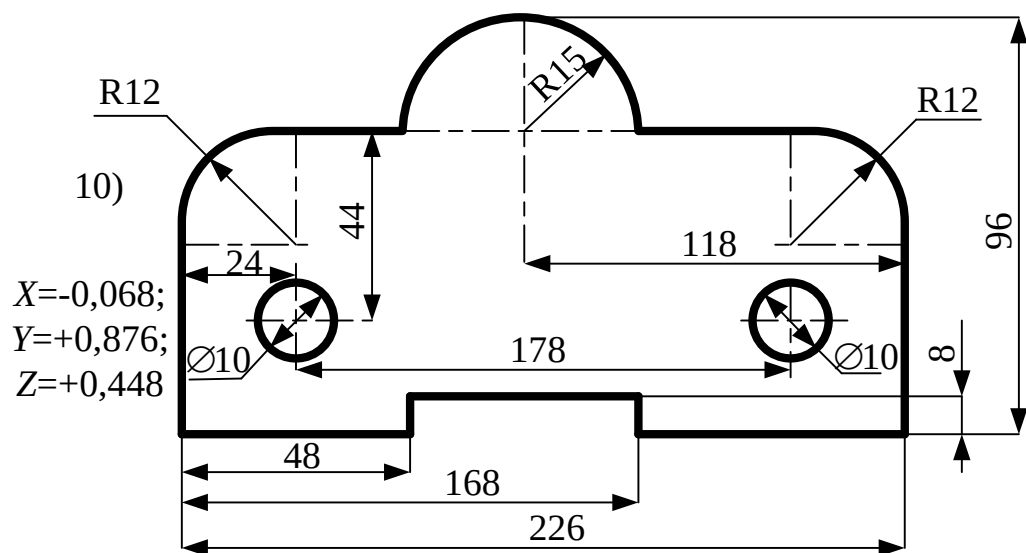
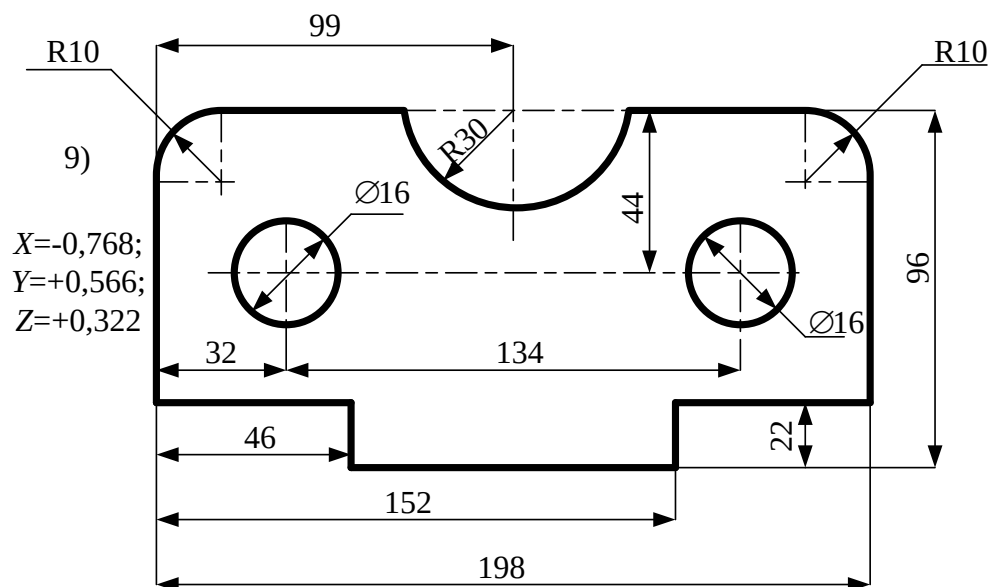
N029M02 (M02 – Конец программы)

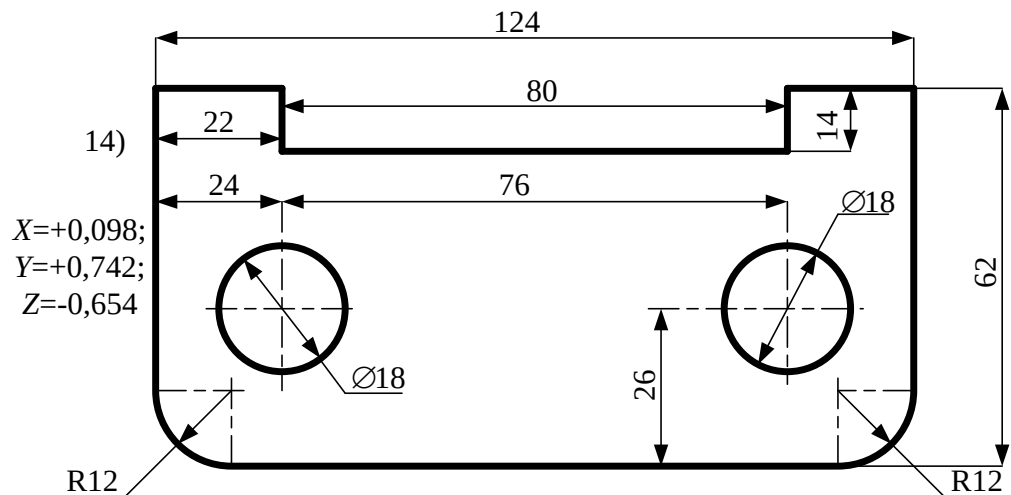
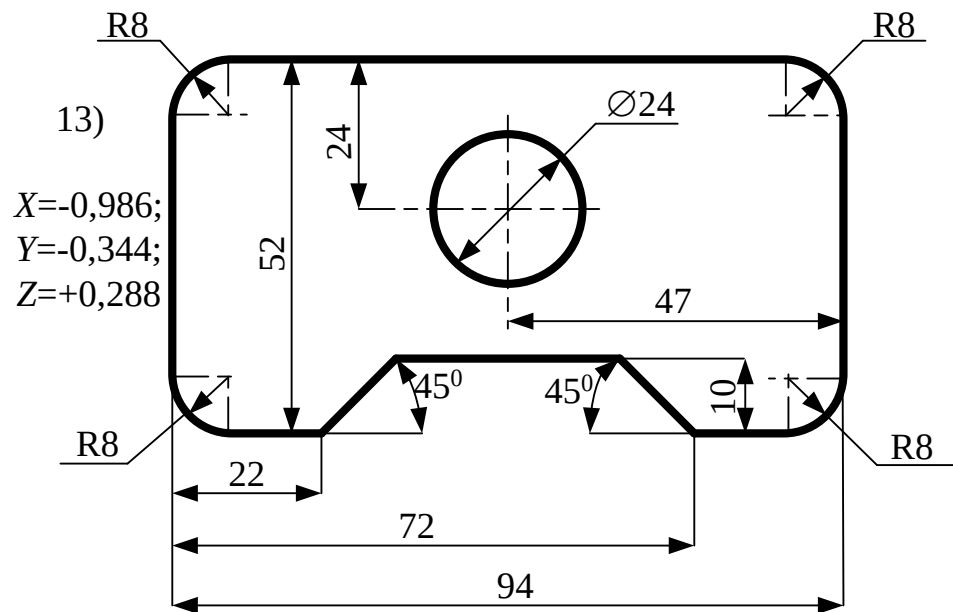
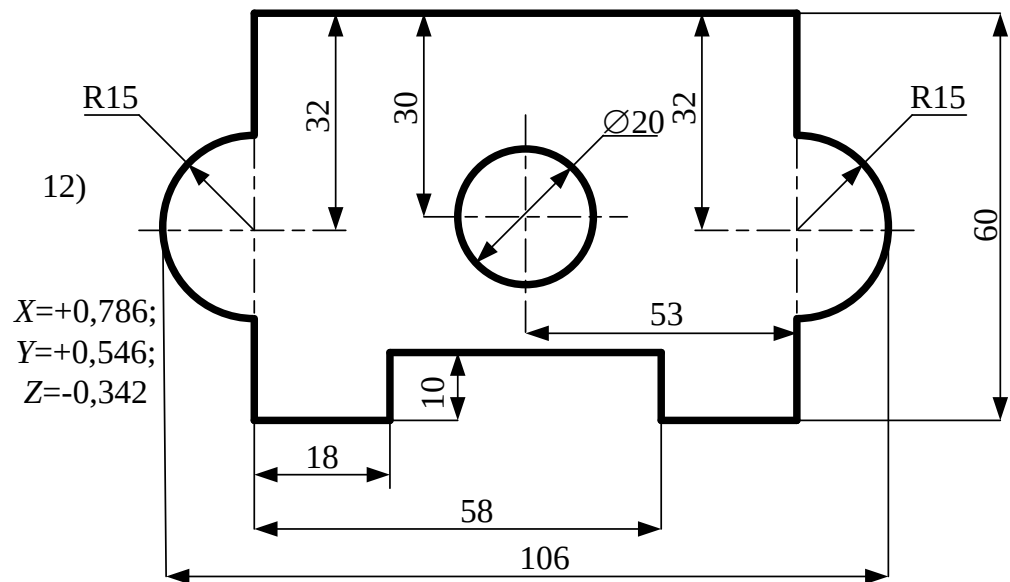
Задания

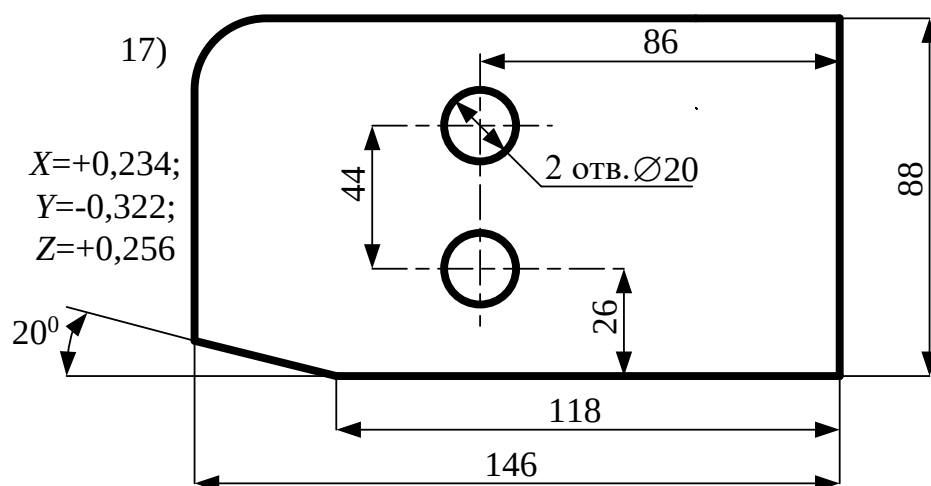
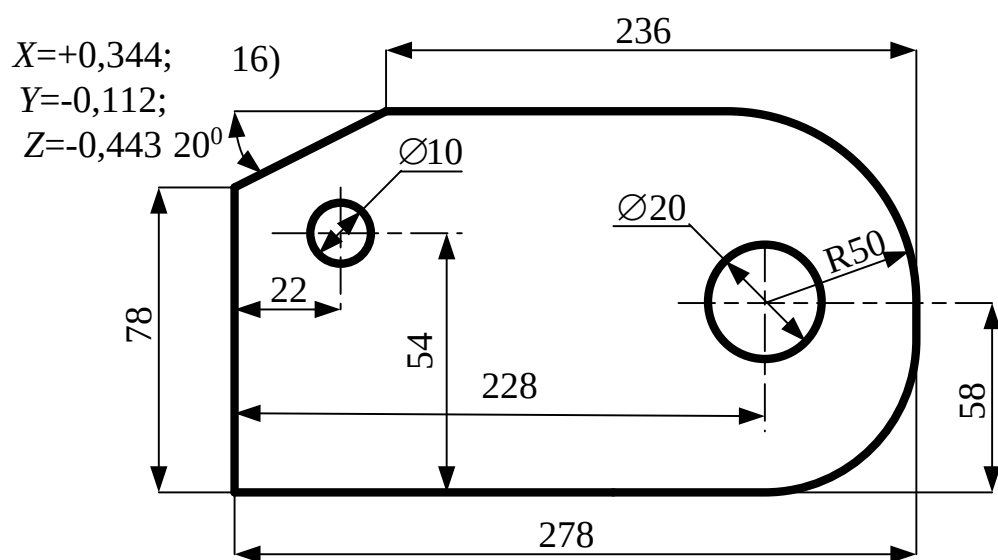
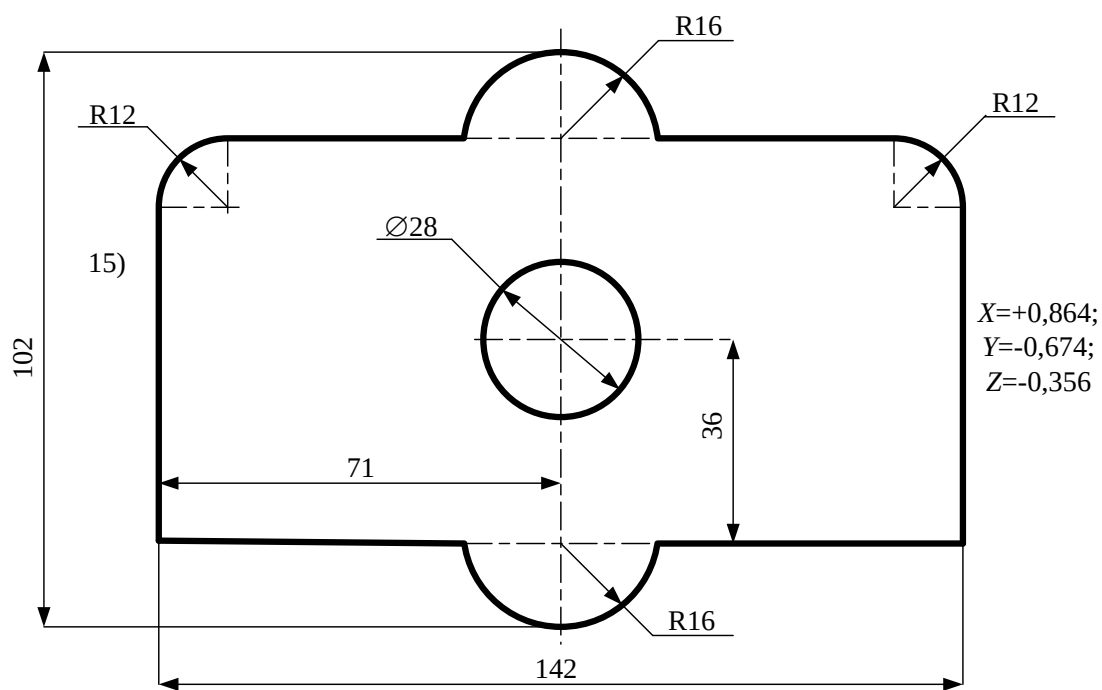


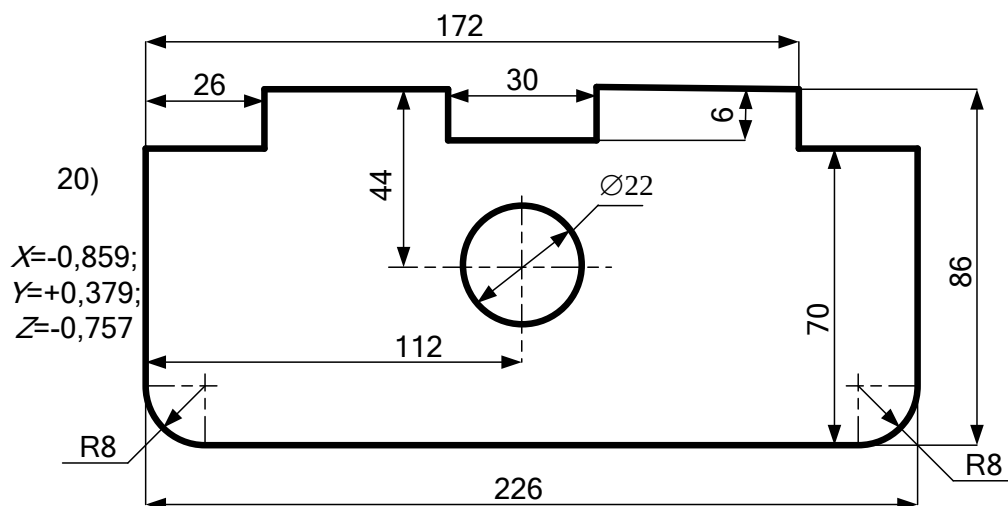
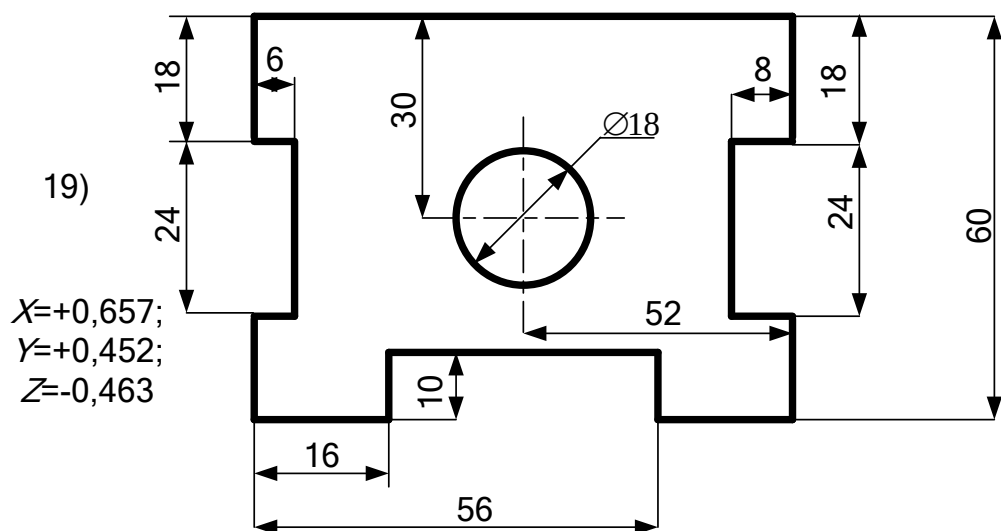
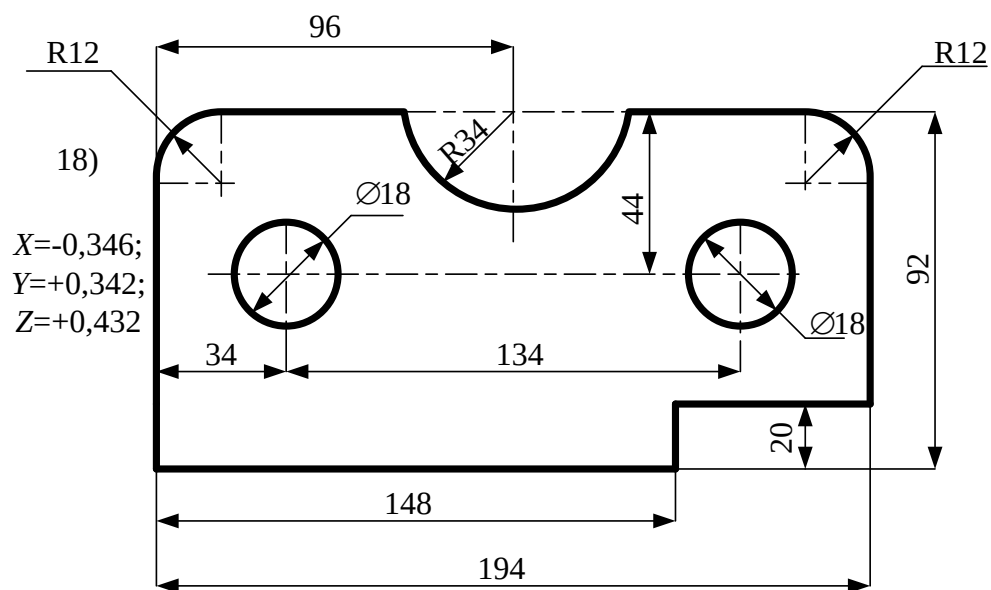


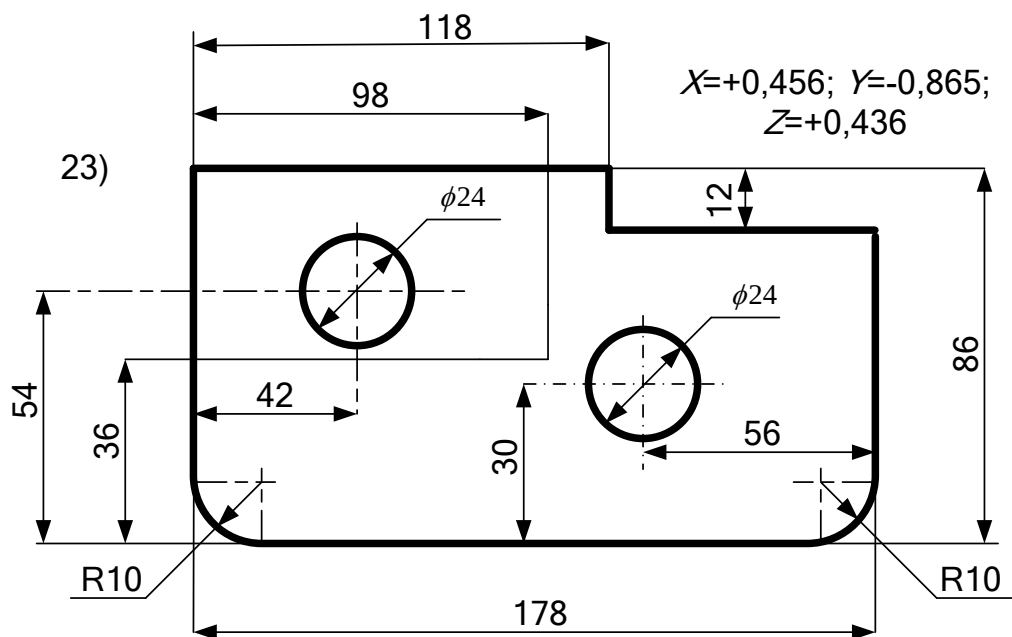
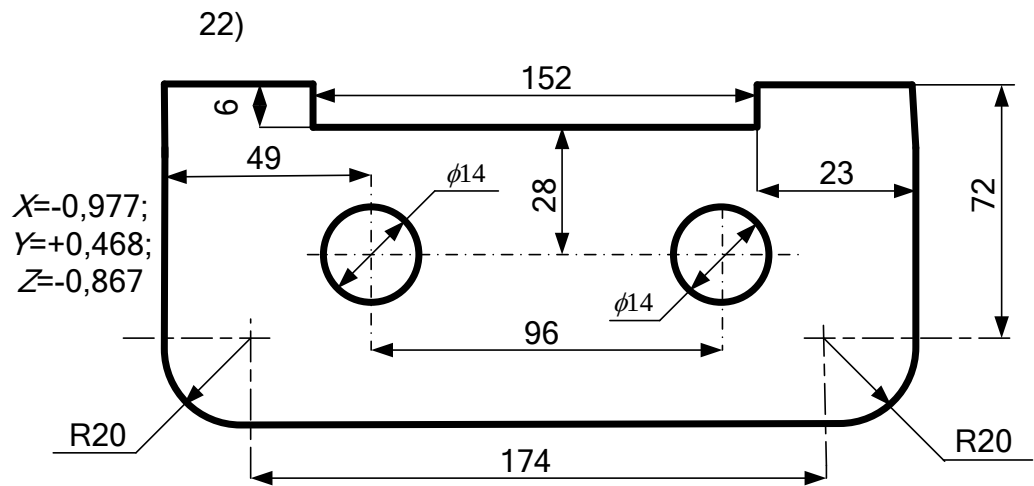
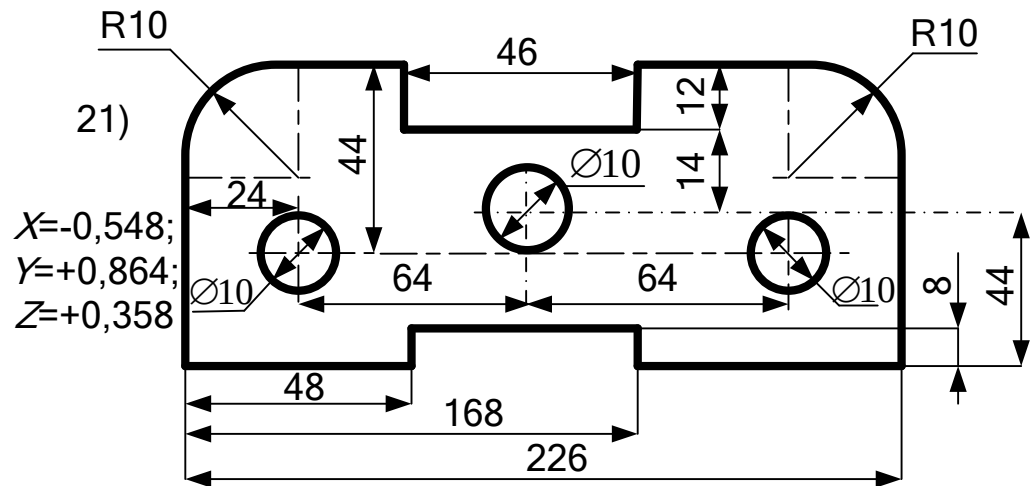












ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Сколько функций можно задать в одном кадре?
2. Как программируется скорость подачи рабочего органа?
3. Как кодируется направление перемещения?
4. Как программируется выдержка времени?

6. Список литературы

1. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. - М. : Техносфера, 2009. - 440 с.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М: Высшая школа, 1988. – 159 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
«Лазерная техника и аддитивные технологии»
для студентов направления подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Методические указания для обучающихся по аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работе носят общий характер и адресованы студентам очной и заочной форм обучения для освоения компетенций и индикаторов:

1. ПК-2. Способен обеспечивать технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней сложности: ИД-1_{ПК-2} Анализирует технологичность конструкции деталей машиностроения средней сложности.

2. ПК-7. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы: ИД-1_{ПК-7} Обработывает и анализирует научно-техническую информацию и результаты исследований; ИД-2_{ПК-7} Способен выполнять эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок.

3. ПК-8. Способен использовать методы искусственного интеллекта и машинного обучения для решения прикладных задач предметной области: ИД-1_{ПК-8} Анализирует технологии и программные средства для решения прикладных задач в машиностроении.

Вопросы для собеседования

1. Что является физической основой работы лазера?
2. Основные принципы действия лазеров.
3. Основы поверхностной лазерной закалки.
4. Основы импульсной лазерной обработки.
5. Изменение микротвердости после поверхностной лазерной закалки.
6. Изменение микротвердости после импульсной лазерной обработки.
7. Что представляет собой лазерное поверхностное легирование металлов и сплавов?
8. Основные виды лазерного поверхностного легирования.
9. Механизм объемного импульсного лазерного упрочнения.
10. Условия для создания ударной волны в материалах при лазерном воздействии.
11. Основы микроструктурного анализа при лазерном воздействии.
12. Методика микроструктурного анализа при лазерном воздействии.
13. Требования, предъявляемые к лазерам для обработки материалов.
14. Виды лазеров, используемых в машиностроительном производстве.
15. Структурная схема лазерной технологической установки.
16. Оптические системы лазерной технологической установки.
17. Основы лазерной сварки материалов.
18. Механизм формирования сварного шва при лазерной сварки.
19. Лазеры, используемые при лазерной сварки материалов.

20. Схема процесса лазерной сварки материалов.
21. Основы лазерной резки материалов.
22. Лазерная резка плавлением.
23. Процесс инверсии.
24. Требования предъявляемые к промышленным лазерам
25. Активные элементы и среды лазеров.
26. Причины высокой твердости материалов на основе железа после поверхностной лазерной закалки или импульсной лазерной обработки.
27. Дефекты упрочненных материалов при неправильном назначении режимов поверхностной лазерной закалки.
28. Недостатки газовых лазеров.
29. Виды твердотельных лазеров.
30. Понятие мод лазерного излучения.
31. Системы охлаждения лазерной технологической установки.
32. КПД лазеров.
33. Преимущества одномодового лазерного излучения.
34. Режим свободной генерации работы лазеров.
35. Режим модулированной добротности работы лазеров.
36. непрерывный и импульсный режимы работы лазеров.
37. Лазеры, используемые при лазерной сварки материалов.
38. Схема процесса лазерной резки материалов.
39. Плавление и испарение материала при лазерной обработке.
40. Условия кристаллизации при лазерной обработке.
41. Преимущества и проблемы реализации аддитивных технологий.
42. Основы автоматизации процесса послойного создания изделия.
43. Обобщенная схема операций при послойном создании изделия.
44. Специфика работы на разных аддитивных установках.
45. Пути повышения точности воспроизведения моделей и качества поверхности.
46. Сравнительная оценка аддитивных установок по размерам рабочей камеры, точности и времени воспроизведения.
47. Применение аддитивных технологий в различных отраслях промышленности.
48. Дорожная карта развития аддитивных технологий.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в не полном объеме; владение умениями и навыками реализуются не в полном объеме.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками.

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог

преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам дисциплины. Перед собеседованием по теме студент должен выполнить и защитить практические работы. Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции ИД-1_{ПК-2}, ИД-1_{ПК-7}, ИД-2_{ПК-7}, ИД-1_{ПК-8}. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по практическим занятиям, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- правильность и четкость ответов;
- правильность речи в быстром или умеренном темпе;
- умение использовать методическую, научную и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

Задания для групповых творческих работ для проведения практического занятия по теме: «Исследования изменений плотности дислокаций кристаллической решетки после ОИЛУ»

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать плотность дислокаций исходных и упрочненных образцов и построить зависимость изменения плотности дислокаций от положения центра тяжести рентгеновских дифракционных линий.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
 - 4.1 Область применения рентгеноструктурного анализа.
 - 4.2 Как определяется плотность дислокаций?
 - 4.3 Как определяется коэффициент изменения плотности дислокаций?

4.4 Как строится зависимость изменения плотности дислокаций от положение центра тяжести рентгеновских дифракционных линий?

**Задания для групповых творческих работ
для проведения практического занятия по теме: «Построение графиков показателей
надежности работы лазера»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать показатели надежности работы лазера (вероятность безотказной работы, плотность распределения отказов, интенсивность отказов) и построить зависимость показателей надежности работы лазера от времени его работы.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
 - 4.1 Как определяется вероятность безотказной работы машины (детали)?
 - 4.2 Как определяется плотность распределения отказов?
 - 4.3 Как определяется интенсивность отказов?
 - 4.4 Как определяется число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки?

**Задания для групповых творческих работ
для проведения практического занятия по теме: «Определения статистических
функций распределения отказов лазеров»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать статистические функции распределения отказов лазеров.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
 - 4.1 Как определяется частота?
 - 4.2 Как приводятся все результаты к наименьшему интервалу времени?
 - 4.3 Как определяется среднее арифметическое значение?
 - 4.4 Как определяется среднее квадратическое значение?

**Задания для групповых творческих работ
для проведения практического занятия по теме: «Разработка управляющей
программы для автоматического управления лазерной резкой»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Разработать управляющую программу для автоматического управления лазерной резкой для заданной детали.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
 - 4.1 Сколько функций можно задать в одном кадре?
 - 4.2 Как программируется скорость подачи рабочего органа?
 - 4.3 Как кодируется направление перемещения?
 - 4.4 Как программируется выдержка времени?

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он безошибочно рассчитывает элементы и управляющие системы лазеров.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он проектирует элементы и управляющие системы лазеров с несущественными неточностями.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он не корректно проектирует элементы и управляющие системы лазеров.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не умеет проектировать элементы и управляющие системы лазеров.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-1_{ПК-2}, ИД-1_{ПК-7}, ИД-2_{ПК-7}, ИД-1_{ПК-8} компетенции и индикаторы.

Для выполнения задания по дисциплине необходимо использовать практикум по дисциплине "Лазерная техника и аддитивные технологии" для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль подготовки – Технология машиностроения).

При проверке задания, оцениваются:

- последовательность и рациональность выполнения;
- точность расчетов;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- аккуратность оформления.

При защите работы оцениваются:

- четкость и выразительность изложения доклада;
- умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы;
- правильность ответов на вопросы;
- связь проекта с производственным опытом;
- инициативность в поиске информации.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	последовательность и рациональность выполнения	
	точность расчетов	
	умение использовать методическую и техническую литературу	
	аккуратность оформления	
	четкость и выразительность изложения доклада	
	умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы	
	правильность ответов на вопросы	
	связь проекта с производственным опытом	
	инициативность в поиске информации	

Тесты

Паспорт фонда тестовых заданий

№ п/ п	Проверяемые темы дисциплины	Проверяемые компетенции	Тип теста*			
			зф ¹	оф ²	ус ³	пп ⁴
1	Лазеры и лазерное излучение.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	8			
2	Термическая обработка материалов лазерным излучением.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	12			
3	Лазерное поверхностное легирование металлов и сплавов.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	11			
4	Технологические лазеры в машиностроении.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	11			
5	Лазеры, используемые для обработки материалов.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	8			
6	Объемное импульсное лазерное упрочнение (ОИЛУ).	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	14	1	1	
7	Лазерная сварка.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	20		3	1
8	Лазерное удаление и разделение материала.	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	4	1		1
9	Аддитивные технологии	ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	9		1	2
	Всего		81	9	5	5

* отметить тип теста «+»

¹ задания закрытой формы (с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенного набора вариантов);

² задания открытой формы (ответ формулируется самостоятельно);

³ задания на установление соответствия (с установлением правильного соответствия между элементами двух представленных множеств);

⁴ задания на установление правильной последовательности (с указанием правильного порядка перечисленного набора элементов).

Тема 1. Лазеры и лазерное излучение.

I:

S: В каком году был разработан первый лазер?

+: 1960

-: 1950

-: 1970

-: 1980

I:

S: Устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения – это....

- + : лазер
- : плазмотрон
- : дифрактометр
- : двигатель

I:

S: Для выделения фотонов, движущихся в определенном направлении и обладающих одинаковой длиной волны, служит...

- + : резонатор
- : система накачки
- : активная среда
- : генератор

I:

S: Что из перечисленного не относится к основным элементам лазера?

- : резонатор
- : система накачки
- : активная среда
- + : генератор

I:

S: Чему должен быть равен коэффициент отражения глухого зеркала резонатора?

- + : $\approx 1,0$
- : $\geq 1,0$
- : $\leq 1,0$
- : $< 1,0$

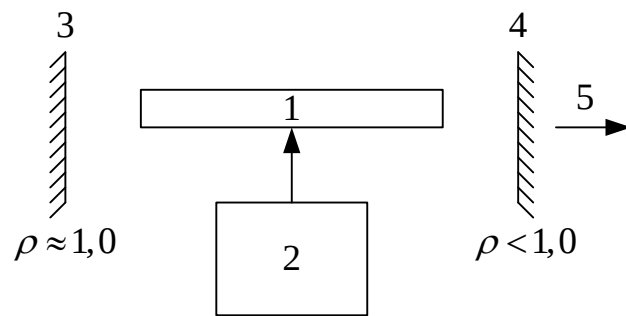
I:

S: Чему должен быть равен коэффициент отражения выходного зеркала резонатора?

- : $\approx 1,0$
- : $\geq 1,0$
- : $\leq 1,0$
- + : $< 1,0$

I:

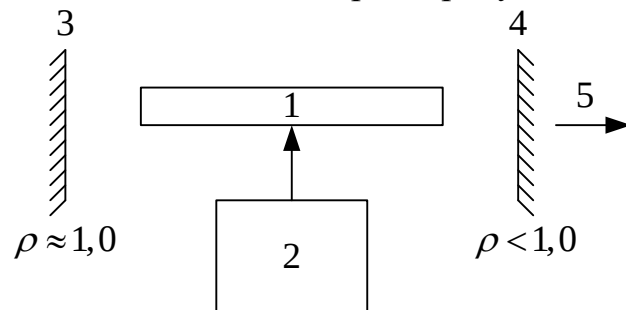
S: Какой элемент лазера на рисунке показан цифрой 1?



- + : активный элемент
- : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- : выходное зеркало резонатора

I:

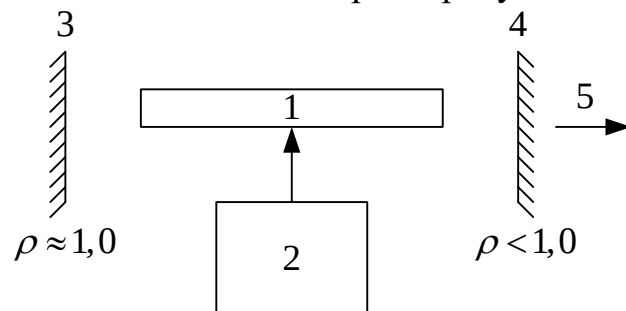
S: Какой элемент лазера на рисунке показан цифрой 2?



- : активный элемент
- + : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- : выходное зеркало резонатора

I:

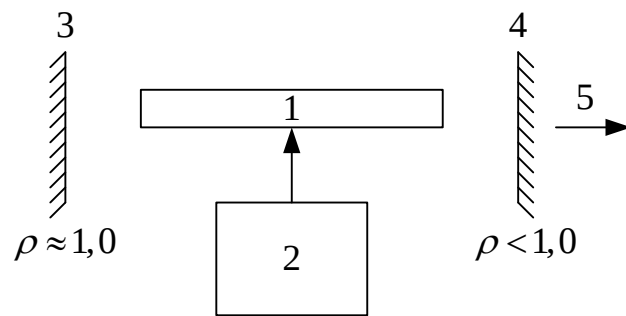
S: Какой элемент лазера на рисунке показан цифрой 3?



- : активный элемент
- : система накачки
- + : глухое зеркало резонатора
- : выходное зеркало резонатора

I:

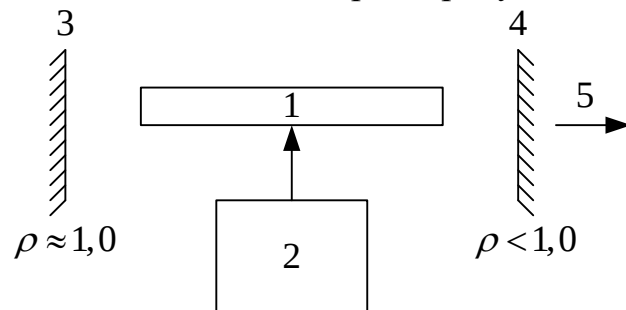
S: Какой элемент лазера на рисунке показан цифрой 4?



- : активный элемент
- : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- +: выходное зеркало резонатора

I:

S: Какой элемент лазера на рисунке показан цифрой 5?



- : активный элемент
- : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- +: лазерное излучение

I:

S: Как называется элемент лазера содержащий вещество, частицы которого легко переходят в возбужденное состояние?

- +: активный элемент
- : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- : выходное зеркало резонатора

I:

S: Что из перечисленного не относится к классификации лазеров по типу активной среды?

- : газовые
- : твердотельные
- : жидкостные
- +: неодимовые

I:

S: Что из перечисленного не относится к классификации лазеров по типу активной среды?

- : газовые
- : твердотельные
- : жидкостные
- +: неоновые

I:

S: Что из перечисленного не относится к классификации лазеров по типу активной среды?

- : газовые
- : твердотельные
- : жидкостные
- +: итербиевые

I:

S: Какие из перечисленных лазеров не относятся к газовым лазерам?

- : атомарные
- : ионные
- : молекулярные
- +: неодимовые

I:

S: Какие из перечисленных лазеров относятся к газовым лазерам?

- +: на парах металлов
- : неодимовые
- : рубиновые
- : полупроводниковые

I:

S: В каких лазерах активный элемент представляет собой кювету, заполненную активной средой?

- +: газовых
- : твердотельных
- : жидкостных
- : полупроводниковых

I:

S: Как называется процесс, лежащий в основе работы лазера?

- +: инверсия
- : конверсия
- : дифракция
- : сходимость

I:

S: Какие из перечисленных активных частиц используются в атомарных лазерах?

+ : He – Ne

- : Ar⁺

- : CO₂

- : Cu

I:

S: Какие из перечисленных активных частиц используются в ионных лазерах?

- : He – Ne

+ : Ar⁺

- : CO₂

- : Cu

I:

S: Какие из перечисленных активных частиц используются в молекулярных лазерах?

- : He – Ne

- : Ar⁺

+ : CO₂

- : Cu

I:

S: Какие из перечисленных активных частиц используются в лазерах на парах металлов?

- : He – Ne

- : Ar⁺

- : CO₂

+ : Cu

I:

S: У каких лазеров активный элемент представляет собой специально выращенный без дефектов кристалл в виде стержня или пластины?

- : газовых

+ : твердотельных

- : жидкостных

- : полупроводниковых

I:

S: Какие вещества включает в себя активный элемент твердотельных лазеров?

+ : активатор

+ : матрицу

- : активную среду

-: кювету

I:

S: Как называется вещество твердотельных лазеров, частицы которого используют для создания инверсии?

+: активатор

-: матрица

-: активная среда

-: кювета

I:

S: Как называется основа активной среды твердотельных лазеров?

-: активатор

+: матрица

-: активная среда

-: кювета

I:

S: Что из перечисленного может быть использовано в качестве активатора твердотельного лазера?

+: Cr^{3+}

-: Co^{2+}

-: Cu^{2+}

-: Na^{2+}

I:

S: Что из перечисленного может быть использовано в качестве активатора твердотельного лазера?

+: Nd^{3+}

-: Co^{2+}

-: Cu^{2+}

-: Na^{2+}

I:

S: Что из перечисленного может быть использовано в качестве матрицы твердотельного лазера?

+: Al_2O_3

-: NaOH

-: CaO

-: CuO

I:

S: Что из перечисленного может быть использовано в качестве матрицы твердотельного лазера?

+: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

- : NaOH
- : CaO
- : CuO

I:

S: Какими могут быть жидкостные лазеры по типу активной среды?

- +: на неорганических растворах
- : на полупроводниках
- : щелочные
- : кислотные

I:

S: Какими могут быть жидкостные лазеры по типу активной среды?

- +: на красителях
- : на полупроводниках
- : щелочные
- : кислотные

I:

S: У каких лазеров активными частицами являются электроны?

- : газовых
- : твердотельных
- : жидкостных
- +: полупроводниковых

I:

S: Что из перечисленного может быть использовано в качестве активного элемента полупроводникового лазера?

- +: GaInAs
- : Y₃Al₅O₁₂
- : NaOH
- : CaO

I:

S: Какая характеристика лазера зависит от объема активной среды?

- +: мощность
- : сходимоссть
- : полярность
- : когерентность

I:

S: Какой элемент лазера служит для создания мощного электромагнитного излучения, воздействующего на активную среду с целью получения инверсного состояния?

- : активный элемент

- + : система накачки
- : глухое зеркало резонатора
- : выходное зеркало резонатора

I:

S: Какими могут быть газовые лазеры по способу накачки?

- + : газоразрядные
- : физическими
- : оптическими
- : инжекционными

I:

S: Какими могут быть газовые лазеры по способу накачки?

- + : газодинамическими
- : физическими
- : оптическими
- : инжекционными

I:

S: Какую накачку применяют в твердотельных и жидкостных лазерах?

- : газодинамическую
- : физическую
- + : оптическую
- : инжекционную

I:

S: Какую накачку применяют в полупроводниковых лазерах?

- + : оптическую
- + : инжекционную
- : газодинамическую
- : химическую

I:

S: Какую накачку применяют в полупроводниковых лазерах?

- + : действие сильного электрического поля
- + : воздействие на активную среду мощным пучком электронов
- : газодинамическую
- : химическую

I:

S: Какой элемент лазера может представлять из себя систему из двух зеркал, между которыми располагают активный элемент?

- : активный элемент
- : система накачки
- + : резонатор

-: генератор

I:

S: Как называется модель в физике, удобная для теоретического описания явлений волновой природы, означающая, что в спектр волны входит всего одна составляющая по частоте?

+: монохроматическая волна

-: когерентность

-: расходимость пучка лазерного луча

-: инжекция

I:

S: Как называется физическое явление, наблюдаемое в полупроводниковых или гетеропереходах, при котором при пропускании электрического тока в прямом направлении через р-п-переход в прилегающих к переходу областях создаются высокие концентрации неравновесных («инжектированных») носителей заряда?

-: монохроматическая волна

-: когерентность

-: расходимость пучка лазерного луча

+: инжекция

I:

S: Как называется согласованность нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении?

-: монохроматическая волна

+: когерентность

-: расходимость пучка лазерного луча

-: инжекция

I:

S: Как называется мера того, как быстро луч расходится (расширяется) в области за перетяжкой, то есть в так называемой дальней зоне?

-: монохроматическая волна

-: когерентность

+: расходимость пучка лазерного луча

-: инжекция

I:

S: Что из перечисленного не входит в общее КПД лазера?

-: квантовый КПД

-: КПД резонатора

-: КПД возбуждения

+: КПД матрицы

I:

S: Какие режимы может иметь лазерное излучение?

+: непрерывное

+: импульсное

-: скачкообразное

-: торовое

I:

S: При каком режиме работы лазера выходная мощность лазерного излучения постоянна по времени?

+: непрерывном

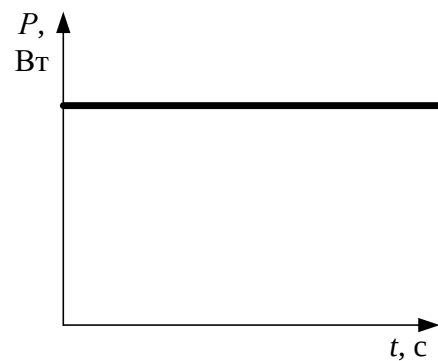
-: импульсном

-: скачкообразном

-: торовом

I:

S: Какой режим работы лазера показан на рисунке?



+: непрерывный

-: импульсный

-: скачкообразный

-: торовый

I:

S: При каком режиме работы лазера лазерное излучение представляет собой последовательность импульсов энергии, характеризующуюся частотой следования импульсов, их длительностью, максимальной и средней мощностью излучения?

-: непрерывном

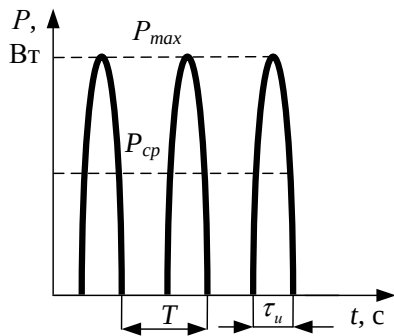
+: импульсном

-: скачкообразном

-: торовом

I:

S: Какой режим работы лазера показан на рисунке?



T - частота импульсов;
 τ_u - длительность импульса;
 P_{max} , P_{cp} - соответственно
максимальная и средняя мощность
излучения

- : непрерывный
- +: импульсный
- : скачкообразный
- : торовый

I:

S: Какие бывают импульсные режимы работы лазеров?

- +: одиночных импульсов
- +: регулярной последовательности импульсов
- : резонаторный режим
- : инжекторный режим

I:

S: Какие бывают импульсные режимы работы лазеров?

- +: режим свободной генерации
- +: режим модулированной добротности
- : резонаторный режим
- : инжекторный режим

I:

S: Как называется импульсный режим работы лазера, при котором длительность импульса излучения равна длительности импульса накачки?

- +: режим свободной генерации
- : режим модулированной добротности
- : одиночных импульсов
- : регулярной последовательности импульсов

I:

S: Как называется импульсный режим работы лазера, при котором пропускная способность резонатора в начале импульса минимальная, а перед его окончанием резко увеличивается до максимальной?

- : режим свободной генерации
- +: режим модулированной добротности

- : одиночных импульсов
- : регулярной последовательности импульсов

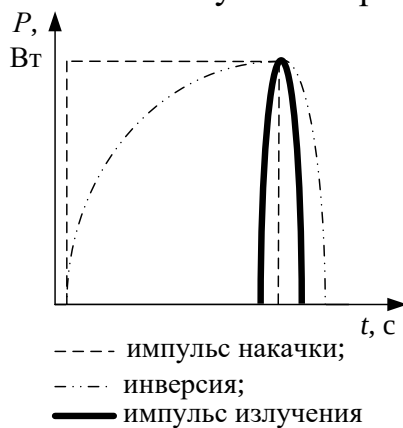
I:

S: При каком импульсном режиме работы лазеров достигается наибольшая мощность излучения?

- : режим свободной генерации
- +: режим модулированной добротности
- : одиночных импульсов
- : регулярной последовательности импульсов

I:

S: Какой импульсный режим работы лазера показан на рисунке?



- : режим свободной генерации
- +: режим модулированной добротности
- : одиночных импульсов
- : регулярной последовательности импульсов

I:

S: Какие существуют режимы лазерного излучения по модовому составу?

- +: одномодовый
- +: многомодовый
- : мономодовый
- : полимодовый

I:

S: При каком режиме лазерного излучения поперечный размер и расходимость лазерного луча минимальны?

- +: одномодовом
- : многомодовом
- : мономодовом
- : полимодовом

I:

S: При каком режиме лазерного излучения степень когерентности и способность к фокусировке максимальна?

+ : одномодовом

- : многомодовом

- : мономодовом

- : полимодовом

I:

S: При каком режиме лазерного излучения характер распределения плотности мощности по сечению луча описывается при помощи распределения Гаусса?

+ : одномодовом

- : многомодовом

- : мономодовом

- : полимодовом

I:

S: Какой режим лазерного излучения характеризуется более высокой выходной мощностью?

- : одномодовый

+ : многомодовый

- : мономодовый

- : полимодовый

I:

S: Какой режим лазерного излучения характеризуется неравномерным распределением плотности мощности?

- : одномодовый

+ : многомодовый

- : мономодовый

- : полимодовый

I:

S: Разновидностью какого режима лазерного излучения является режим синхронизации мод?

- : одномодового

+ : многомодового

- : мономодового

- : полимодового

I:

S: При каком режиме воздействие лазерного излучения на материал можно считать непрерывным (квазинепрерывным)?

+ : синхронизации мод

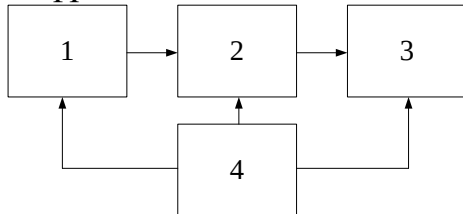
- : режим модулированной добротности

-: одиночных импульсов

-: регулярной последовательности импульсов

I:

S: Какой элемент лазерной технологической установки показан на рисунке цифрой 1?



+: блок излучателя (лазер, система охлаждения)

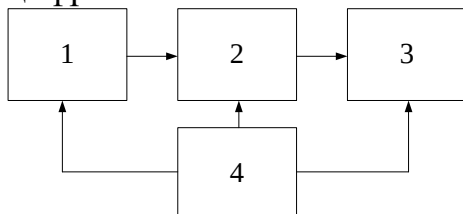
-: оптический блок (вспомогательный лазер, фокусирующий объектив, система наблюдения)

-: блок позиционирования (обрабатываемая деталь, рабочий стол, система позиционирования)

-: блок управления и питания (система управления, система питания)

I:

S: Какой элемент лазерной технологической установки показан на рисунке цифрой 2?



-: блок излучателя (лазер, система охлаждения)

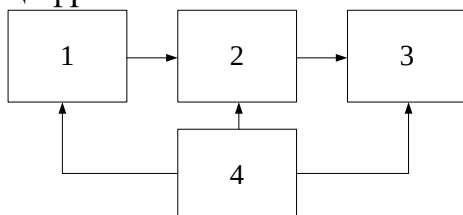
+: оптический блок (вспомогательный лазер, фокусирующий объектив, система наблюдения)

-: блок позиционирования (обрабатываемая деталь, рабочий стол, система позиционирования)

-: блок управления и питания (система управления, система питания)

I:

S: Какой элемент лазерной технологической установки показан на рисунке цифрой 3?



-: блок излучателя (лазер, система охлаждения)

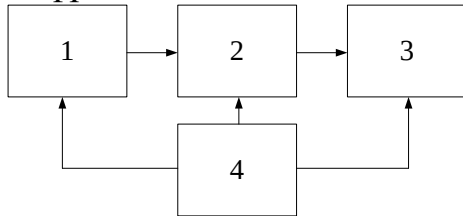
-: оптический блок (вспомогательный лазер, фокусирующий объектив, система наблюдения)

+: блок позиционирования (обрабатываемая деталь, рабочий стол, система позиционирования)

-: блок управления и питания (система управления, система питания)

I:

S: Какой элемент лазерной технологической установки показан на рисунке цифрой 4?



-: блок излучателя (лазер, система охлаждения)

-: оптический блок (вспомогательный лазер, фокусирующий объектив, система наблюдения)

-: блок позиционирования (обрабатываемая деталь, рабочий стол, система позиционирования)

+: блок управления и питания (система управления, система питания)

I:

S: Что применяется для обеспечения стабильности энергетических и пространственных параметров лазерного излучения?

+: системы охлаждения

-: активный элемент

-: система накачки

-: резонатор

I:

S: С какой целью в лазерных технологических установках используют дополнительный маломощный гелий-неоновый (He:Ne) лазер?

+: для удобства позиционирования

-: для получения высокой мощности

-: для повышения сходимости

-: для улучшения монохроматичности

I:

S: Какие лазеры имеют наибольшую мощность?

+: CO₂-лазеры

-: Ст:Nd

-: АИГ:Nd

-: Ne

I:

S: Какие преимущества твердотельных лазеров перед газовыми?

+: фокусировка пятна меньшего размера

- : большая мощность
- : возможность применения оптико-волоконных систем
- : большая длина волны излучения

I:

S: Какие преимущества твердотельных лазеров перед газовыми?

- +: меньшие габариты
- : большая мощность
- : возможность применения оптико-волоконных систем
- : большая длина волны излучения

I:

S: К каким методам сварки относится сварка при помощи лазера?

- +: плавлением
- : давлением
- : контактной
- : взрывом

I:

S: За счет чего КПД лазерной сварки при импульсном режиме выше, чем при непрерывном режиме?

- +: отсутствия эффекта экранирования излучения
- : возможности использования более высоких скоростей
- : высокой мощностью процесса
- : легкости транспортировки излучения

I:

S: Какие мероприятия проводят для снижения экранирующего действия плазменного факела при лазерной сварке?

- +: вводят в зону сварки элементы, препятствующие ионизации
- : используют более высокие скорости сварки
- : уменьшают зазор между свариваемыми деталями
- : применяют газовые лазеры

I:

S: Какие мероприятия проводят для снижения экранирующего действия плазменного факела при лазерной сварке?

- +: применяют дополнительный поток газа
- : используют более высокие скорости сварки
- : уменьшают зазор между свариваемыми деталями
- : применяют газовые лазеры

I:

S: Какие используются режимы лазерной резки материалов?

- +: испарение материала

- + : плавление с удалением расплава из зоны обработки
- : термораскалывание
- : скрайбирование

I:

S: Какие лазеры предпочтительно использовать при резке неметаллов?

- + : CO₂-лазеры
- : Ст:Nd
- : АИГ:Nd
- : Ne

I:

S: Какие лазеры предпочтительно использовать при резке металлов и полупроводников?

- + : твердотельные
- : газовые
- : жидкостные
- : полупроводниковые

I:

S: Как называется процесс получения отверстий при помощи лазеров?

- + : прошивка
- : протягивание
- : разворачивание
- : калибрование

I:

S: Какой метод упрочнения материалов с использованием лазера позволяет получать эффект упрочнения по объему?

- + : объемное импульсное лазерное упрочнение
- : импульсная лазерная обработка
- : лазерный наклеп
- : аморфизация поверхностей

I:

S: Какой метод лазерного упрочнения основан на механических воздействиях на упрочняемый материал?

- : импульсная лазерная обработка
- + : лазерный наклеп
- : аморфизация поверхностей
- : поверхностная лазерная закалка

I:

S: Какой метод лазерного упрочнения основан на механических воздействиях на упрочняемый материал?

- : импульсная лазерная обработка
- +: объемное импульсное лазерное упрочнение
- : аморфизация поверхностей
- : поверхностная лазерная закалка

I:

S: Какие лазеры используют при поверхностной лазерной закалке?

- +: непрерывного действия
- : импульсного действия
- : жидкостные
- : полупроводниковые

I:

S: В каком материале происходит растворение периферии зерен WC в кобальтовой связующей за счет импульсной лазерной обработки?

- +: твердом сплаве
- : инструментальной стали
- : коррозионностойкой стали
- : высокопрочном чугуне

I:

S: За счет чего может происходить повышение механических свойств материалов после импульсной лазерной обработки?

- +: изменение растягивающих напряжений на сжимающие
- : увеличение размеров зерен
- : снижение наклепа материала
- : уменьшение шероховатости поверхности

I:

S: Что из перечисленного не относится к методам нанесения покрытий с использованием лазера?

- : лазерное легирование поверхностей
- : наплавка
- : напыление покрытий
- +: поверхностная пластическая деформация

I:

S: Что представляет собой насыщение поверхностного слоя материала легирующими элементами на глубину большую конечной толщины легирующего слоя с целью повышения его прочности, твердости, износостойкости, коррозионностойкости и других свойств?

- +: лазерное легирование поверхностей
- : наплавка
- : напыление покрытий
- : поверхностная пластическая деформация

I:

S: Какой метод заключается в нанесении на поверхность материала обмазок или паст с последующим оплавлением поверхности непрерывным или импульсным лазерным излучением?

- + : лазерное легирование поверхностей
- : наплавка
- : напыление покрытий
- : поверхностная пластическая деформация

I:

S: Как называют метод, при котором толщина расплава меньше легирующего слоя?

- : лазерное легирование поверхностей
- + : наплавка
- : напыление покрытий
- : поверхностная пластическая деформация

I:

S: Какой из перечисленных методов широко применяют для восстановления изношенных деталей?

- : лазерное легирование поверхностей
- + : наплавка
- : напыление покрытий
- : поверхностная пластическая деформация

I:

S: Какой метод заключается в испарении материала с облучаемой поверхности с последующим осаждением его на поверхность другого тела с целью получения покрытия со специальными свойствами?

- : лазерное легирование поверхностей
- : наплавка
- + : напыление покрытий
- : поверхностная пластическая деформация

I:

S: Какой из перечисленных методов упрочнения основан на прохождении ударной волны по объему материала?

- + : объемное импульсное лазерное упрочнение
- : импульсная лазерная обработка
- : лазерный наклеп
- : аморфизация поверхностей

I:

S: Какой вид лазеров применяется для объемного импульсного лазерного упрочнения?

-: непрерывного действия

+: импульсного действия

-: жидкостные

-: полупроводниковые

I:

S: Что из перечисленного не относится к показателям дефектности структуры материалов, учитывающим эффект лазерного упрочнения?

-: плотность дислокаций

-: размеры блоков мозаики

-: микроискажения кристаллической решетки

+: анизотропия кристаллитов структуры

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки, при ответе на вопрос привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций..

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоении компетенций.

1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: тестирование студента.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-1_{ПК-2}, ИД-1_{ПК-7}, , ИД-2_{ПК-7}, ИД-1_{ПК-8} компетенции. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при тестировании возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу.

При подготовке к тесту студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- правильность ответов;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации;

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-1 _{ПК-2} , ИД-1 _{ПК-7} , ИД-2 _{ПК-7} , ИД-1 _{ПК-8}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность ответов	
	инициативность в поиске информации	
	умение использовать методическую и техническую литературу	

Вид работы: Подготовка конспекта. Инструкция по выполнению самостоятельной работы

Хорошо составленный конспект помогает усвоить материал. В конспекте кратко излагается основная сущность учебного материала, приводятся необходимые обоснования, табличные данные, схемы, эскизы, расчеты и т.п. Конспект целесообразно составлять целиком на тему. При этом имеется возможность всегда дополнять составленный конспект вырезками и выписками из журналов, газет, статей, новых учебников, брошюр по обмену опытом, данных из Интернета и других источников. Таким образом конспект становится сборником необходимых материалов, куда студент вносит всё новое, что он изучил, узнал. Такие конспекты представляют, большую ценность при подготовке к урокам.

1. Первичное ознакомление с материалом изучаемой темы по тексту учебника, картам, дополнительной литературе.

2. Выделение главного в изучаемом материале, составление обычных кратких записей.

3. Подбор к данному тексту опорных сигналов в виде отдельных слов, определённых знаков, графиков, рисунков.

4. Продумывание схематического способа кодирования знаний, использование различного шрифта и т.д.

5. Составление опорного конспекта.

Темы конспекта.

7 семестр

- 1 Лазеры и лазерное излучение.
- 2 Термическая обработка материалов лазерным излучением.
- 3 Лазерное поверхностное легирование металлов и сплавов.
- 4 Технологические лазеры в машиностроении.
- 5 Лазеры, используемые для обработки материалов.
- 6 Объемное импульсное лазерное упрочнение (ОИЛУ).
- 7 Лазерная сварка.
- 8 Лазерное удаление и разделение материала.
- 9 Аддитивные технологии.

Форма контроля и критерии оценки

«5» Полнота использования учебного материала. Объём конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Логика изложения (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«4» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных

предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«3» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

«2» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Отсутствуют схемы, количество смысловых связей между понятиями. Отсутствует наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Допущены ошибки терминологические и орфографические. Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Не самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. — 4-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-8994-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/330503>

2. Богданов, А. В. Волоконные технологические лазеры и их применение / А. В. Богданов, Ю. В. Голубенко. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 236 с. — ISBN 978-5-507-47811-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/327554>

Дополнительная литература:

1. Лазерное упрочнение технологического инструмента обработки металлов давлением [Электронный ресурс] : монография / Н. А. Чиченев, С. А. Иванов, С. М. Горбатюк, А. Н. Ве-ремеевич. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2013. — 166 с. — 978-5-87623-664-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56273.html>
2. Пинахин, И.А. Основы объемного импульсного лазерного упрочнения инструменталь-ных и конструкционных материалов Электронный ресурс : монография / В.А. Черниговский / И.А. Пинахин. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. — 160 с. — Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. — ISBN 978-5-9296-0689-2
3. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Вейко, В. Н. Смирнов, А. М. Чирков, Е. А. Шахно. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2013. — 103 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71489.html>
4. Айхлер, Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. — М. : Техносфера, 2008. — 440 с. — (Мир физики и техники). — ISBN 978-5-94836-167-3; 621.37_A 37

Интернет-ресурсы:

1. [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/) Университетская библиотека онлайн.
2. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.
3. <http://www.i-mash.ru> – ресурс машиностроения, каталог стандартов ЕСКД.