

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 15.03.01 Машиностроение**

**Наименование образовательной программы: Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**


**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теоретические основы обработки материалов КПЭ 2**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:


Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Родякина Р.В.
	Идентификатор	R768be585-RodiakinaRV-b3c4458f

Р.В. Родякина

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Петров П.Ю.
	Идентификатор	R653adc76-PetrovPY-f1c0c784

П.Ю. Петров

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Драгунов В.К.
	Идентификатор	R75d71719-DragunovVK-00c02b9f

В.К.  
Драгунов

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-4 умением применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; умением применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в машиностроении
2. ПК-18 умением применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Закономерности проплавления металлов при лазерном воздействии. Закономерности резки металлов при лазерном воздействии (Контрольная работа)
2. Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %		
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
	Срок КМ:	7	14
Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом			
Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом		+	
Закономерности проплавления металлов при лазерном воздействии. Закономерности резки металлов при лазерном воздействии			
Закономерности проплавления металлов при лазерном воздействии. Закономерности резки металлов при лазерном воздействии			+
	Вес КМ:	50	50

§Общая часть/Для промежуточной аттестации§

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-4	ОПК-4(Компетенция)	Знать: основные параметры режима сварки (резки) с использованием КПЭ (лазерный луч) и влияние, оказываемое на процесс сварки (резания) при их изменении Уметь: анализировать влияние основных процессов, протекающих при воздействии лазерного луча на обрабатываемый материал	Закономерности проплавления металлов при лазерном воздействии. Закономерности резки металлов при лазерном воздействии (Контрольная работа)
ПК-18	ПК-18(Компетенция)	Знать: основные процессы, протекающие при сварке (резке) с использованием КПЭ (лазерный луч) и их вклад в формирование качественного сварного соединения (реза) Уметь: вносить необходимые	Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом (Контрольная работа)

		корректировки параметров режима сварки (резки) с учетом влияния основных процессов, протекающих в металле при сварке (резке) с использованием КПЭ, для получения качественного сварного соединения (реза)	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится письменно по билетам. Время проведения контрольной работы - 1 час. Студент получает билет, содержащий 4 вопроса: 2 теоретических (на проверку знаний) и 2 практических (на проверку умений)

#### Краткое содержание задания:

Контрольная работа проводится для проверки знаний и умений по разделу: “Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом”

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: основные процессы, протекающие при сварке (резке) с использованием КПЭ (лазерный луч) и их вклад в формирование качественного сварного соединения (реза)</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Особенности взаимодействия ЛИ: Как происходит взаимодействие лазерного луча с металлом?</li><li>2. Особенности взаимодействия ЛИ: Записать уравнение Хагена-Рубенса и объяснить его смысл</li><li>3. Особенности взаимодействия ЛИ: Записать закон Бугера-Ламберта и объяснить, что он характеризует</li><li>4. Особенности взаимодействия ЛИ: Действие каких сил обеспечивает возможность существования канала проплавления и его форму при лазерной сварке?</li><li>5. Особенности взаимодействия ЛИ: В каком случае при лазерном воздействии образуется облако плазмы?</li></ol>
<p>Уметь: вносить необходимые корректировки параметров режима сварки (резки) с учетом влияния основных процессов, протекающих в металле при сварке (резке) с использованием КПЭ, для получения качественного сварного соединения (реза)</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Особенности взаимодействия ЛИ: Предложить возможные меры для увеличения поглощательной способности стали при действии на нее лазерного излучения</li><li>2. Особенности взаимодействия ЛИ: Определить мощность и энергию импульсов излучения N<sub>2</sub>-лазера при длительности <math>\tau=10^{-8}</math> с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе <math>q_0=10^7</math> Вт/см<sup>2</sup>, если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см</li><li>3. Особенности взаимодействия ЛИ: В каком случае эффективный КПД будет выше: для электронно-лучевой или для лазерной сварки стали? Ответ обосновать</li><li>4. Особенности взаимодействия ЛИ: Определить зависимость от времени температуры тонкой пластины, нагреваемой излучением равномерно по объему, если мощность излучения зависит от времени <math>P=P(t)</math>, коэффициент отражения пластины R,</li></ol>

	<p>а начальная температура пластины <math>T_0</math></p> <p>5. Особенности взаимодействия ЛИ: Найти мощность излучения, падающего на поверхность, если облученная область имеет вид круга радиуса <math>r_0</math> и плотность мощности излучения в ней распределена по закону <math>q = q(\rho, \phi)</math>, где <math>\rho, \phi</math> – полярные координаты в плоскости поверхности. <math>P = k\sqrt{t}</math>. Оценить, как будет меняться мощность излучения, падающего на поверхность, при изменении распределения плотности мощности в облученной области того же радиуса</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если 3 вопроса из 4 раскрыты правильно, выбран верный метод решения обеих задач, но при вычислении в одной из задач допущены ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если студент дал верные ответы на 2 вопроса из 4 (ответил на 1 теоретический вопрос, т.е. показал наличие знаний, и решил 1 задачу, т.е. проявил умения), а на два другие пытался ответить, но допустил ошибки

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если студент не решил обе задачи (отсутствуют умения) либо не ответил на оба теоретических вопроса (отсутствуют знания) и при решении задач допустил ошибки.

**КМ-2. Закономерности проплавления металлов при лазерном воздействии.**

**Закономерности резки металлов при лазерном воздействии**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится письменно по билетам. Время проведения контрольной работы - 1 час. Студент получает билет, содержащий 4 вопроса: 2 теоретических (на проверку знаний) и 2 практических (на проверку умений)

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа проводится для проверки знаний и умений по разделу: “Особенности взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым металлом”

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные параметры	1. Объяснить, почему лазерное излучение можно
---------------------------	---

<p>режима сварки (резки) с использованием КПЭ (лазерный луч) и влияние, оказываемое на процесс сварки (резания) при их изменении</p>	<p>использовать для технологических целей?  2. При каких плотностях мощности процесс лазерной сварки идет без интенсивного испарения (указать формулу)  3. Записать соотношение, характеризующее связь между плотностью поглощенной мощности излучения <math>q</math> и мощностью излучения <math>P_0</math>  4. Обосновать применение CO<sub>2</sub>-лазера для обработки алюминия  5. Как зависит глубина и радиус отверстий, получаемых при лазерной обработке, от параметров обработки (энергии лазерного импульса, угла расхождения излучения после фокуса оптической системы)?</p>
<p>Уметь: анализировать влияние основных процессов, протекающих при воздействии лазерного луча на обрабатываемый материал</p>	<p>1. Температура нагретого тела после его облучения лазерным импульсом, в результате остывания при теплоотводе, меняется как <math>T_1 = T_0(1 - t/t_0)</math>, где <math>t=0</math> - момент окончания импульса, нагревающего тело. В момент <math>t = t_{имп}</math> включается новый импульс, который дает дополнительное изменение температуры тела <math>T_2 = T_0 * [exp(a * (t - t_{имп})) - 1]</math>. Определить, как будет изменяться температура во время действия второго импульса  2. Оценить скорость испарения материала (скорость увеличения глубины отверстия) в стали, при поглощенной мощности излучения <math>q = 10^8</math> Вт/см<sup>2</sup>.  3. Определить максимальную скорость резки медной фольги толщиной 0,1 мм непрерывным излучением YAG:Nd лазера мощностью 500 Вт при радиусе пятна 50 мкм.  4. Найти максимально возможное отношение глубины отверстия к его диаметру при лазерной прошивке отверстий.  5. Определить длительность воздействия, необходимую для испарения стекла непрерывным излучением CO<sub>2</sub>-лазера мощностью 100 Вт при радиусе облученной области 30 мкм.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения задания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения задания: Оценка "хорошо" выставляется, если 3 вопроса из 4 раскрыты правильно, выбран верный метод решения обеих задач, но при вычислении в одной из задач допущены ошибки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если студент дал верные ответы на 2 вопроса из 4 (ответил на 1 теоретический вопрос, т.е. показал наличие знаний, и решил 1 задачу, т.е. проявил умения), а на два другие пытался ответить, но допустил ошибки

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если студент не решил обе задачи (отсутствуют умения) либо не ответил на оба теоретических вопроса (отсутствуют знания) и при решении задач допустил ошибки.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Физические особенности образования сварного соединения при лазерной сварке материалов малых толщин.
2. Определить мощность и энергию импульсов излучения N<sub>2</sub>-лазера при длительности  $10^{-8}$  с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе  $q_0 = 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.

### Процедура проведения

Зачет с оценкой проводится в виде письменной работы по билетам. В каждом билете содержится 2 вопроса: 1 теоретический вопрос по обработке лазерным излучением и 1 практический вопрос (задача). На выполнение письменной работы студентам дается 1 час (60 минут).

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

#### **1. Компетенция/Индикатор:** ОПК-4(Компетенция)

#### **Вопросы, задания**

1. Параметры лазерного излучения в непрерывном и импульсном режимах
2. Формирование канала проплавления при лазерном воздействии
3. Энергетические условия взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым материалом
4. Привести соотношения между импульсной и средней мощностью излучения, плотностью энергии и плотностью мощности. Привести характерную зависимость порогов разрушения (плотности мощности) от длительности воздействия.
5. Показать, какой режим - непрерывный или импульсный - является более эффективным для лазерной обработки
6. Определить расходимость излучения многомодового лазера в зависимости от числа генерируемых поперечных мод

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

- 1.1. Какой источник энергии имеет максимальную плотность энергии?

Ответы:

- а) лазерный луч
- б) электронный луч
- в) электрическая дуга
- г) газовое пламя

Верный ответ: а)

- 2.7. Что характеризует направленность пучка излучения?

Ответы:

- а) угол расходимости пучка;
- б) пространственное распределение интенсивности пучка;
- в) плотность мощности излучения;

г) мощность излучения

Верный ответ: а), б)

3.8. Степень монохроматичности излучения зависит от:

Ответы:

а) длины волны излучения;

б) свойств активной среды;

в) характеристик резонатора;

г) свойств обрабатываемого материала

Верный ответ: б), в)

4.9. В основе большинства применяемых лазерных технологий лежит:

Ответы:

а) гравитационное воздействие излучения;

б) электромагнитное воздействие излучения;

в) тепловое воздействие излучения

Верный ответ: в)

5.10. При лазерной обработке металлов глубина проникновения излучения оказывается:

Ответы:

а) много больше характерного размера теплопроводности  $\sqrt{at}$ ;

б) много меньше характерного размера теплопроводности  $\sqrt{at}$ ;

в) сравнима с характерным размером теплопроводности  $\sqrt{at}$

Верный ответ: б)

## 2. Компетенция/Индикатор: ПК-18(Компетенция)

### Вопросы, задания

1. Лазерное излучение. Основные достоинства, позволяющие использовать его в качестве инструмента для обработки материалов

2. Основные процессы взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым материалом (отражение излучения, поглощение излучения, нагрев, плавление, лазерная эрозия)

3. Особенности лазерного разделения материалов. Механизмы лазерного разделения материалов

4. Определить плотность мощности лазерного излучения на обрабатываемой поверхности в центре пятна облучения, если известна мощность излучения  $P$ . (Распределение плотности мощности - гауссово:  $q = q_0 \exp(-r/r_0)^2$ )

5. Оценить толщину прогретого слоя стали при импульсном воздействии на нее излучения лазера YAG:Nd, длительность импульса  $10^{-8}$  с.

6. Определить радиус области, в которой сосредоточено 50% всей энергии гауссова пучка, если задан характерный размер гауссова распределения  $r_0$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.2. Что характеризует закон Бугера-Ламберта?

Ответы:

а) изменение скорости воздействия лазерного излучения на обрабатываемый материал

б) ослабление интенсивности падающего лазерного излучения по глубине

в) изменение положения фокуса в процессе лазерной обработки

г) изменение теплофизических свойств обрабатываемого материала

Верный ответ: б)

2.3. Как увеличить поглощательную способность материала при лазерной обработке?

Ответы:

а) нанести зачерняющее покрытие на поверхность обрабатываемого материала

б) нанести светлую краску на поверхность обрабатываемого материала

в) увеличить шероховатость обрабатываемой поверхности

г) использовать специальные зеркала

Верный ответ: а, в

3.4. Как выбирается длина волны лазерного излучения при обработке?

Ответы:

а) Так, чтобы обеспечить минимальное поглощение излучения веществом;

б) Так, чтобы обеспечить максимальное поглощение излучения веществом;

в) Так, чтобы обеспечить максимальное отражение излучения веществом;

г) Так, чтобы обеспечить минимальное отражение излучения веществом.

Верный ответ: б)

4.5. При использовании импульсных лазеров длительность воздействия излучения на материал определяется:

Ответы:

а) длительностью импульса излучения;

б) плотностью мощности излучения;

в) мощностью излучения;

г) скоростью сканирования лазерного излучения по поверхности материала

Верный ответ: а), г)

5.6. Производительность обработки при импульсном воздействии определяется:

Ответы:

а) мощностью излучения;

б) плотностью мощности излучения;

в) частотой следования импульсов

Верный ответ: в)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент верно или преимущественно ответил на 7 вопросов теста из 10.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент верно или преимущественно ответил на 6 вопросов теста из 10.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент верно или преимущественно ответил на 5 вопросов теста из 10.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент верно или преимущественно ответил менее чем на 5 вопросов теста из 10.

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценка за семестр.