

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Костромской государственный университет»

(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ  
ОБРАБОТКИ**

Направление подготовки 03.04.02–Физика

Направленность «Физика конденсированного состояния вещества»

Квалификация (степень) выпускника: Магистр

**Кострома**

Рабочая программа дисциплины «Современные проблемы электролитно-плазменной обработки» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.04.02–Физика, утвержден 7 августа 2020 г., приказ № 914.

Разработал: Дьяков Илья Геннадьевич, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

Рецензент: Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики  
Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью курса является подготовка магистров физики к практической деятельности в области электролитно-плазменной модификации металлов и сплавов, а также моделирования сложных физических процессов в научно-исследовательских институтах, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на производственных предприятиях путем формирования соответствующих компетенций.

В результате изучения учебной дисциплины «Современные проблемы электролитно-плазменной обработки» обучаемые должны освоить компетенцию:

– способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности (ОПК-4)

Задачи дисциплины:

знакомство с физико-химическим механизмом явления электролитной плазмы, теплофизическими и электрохимическими аспектами процесса, методами электролитно-плазменного диффузионного насыщения металлов и сплавов элементами, образующими растворы внедрения.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

освоить компетенцию:

– способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности (ОПК-4)

Код и содержание индикаторов компетенции:

**ОПК-4.1.** Владеет фундаментальными основами физики конденсированного состояния вещества для решения задач профессиональной деятельности

**ОПК-4.2.** Самостоятельно определяет методы воздействия на деталь для получения заданных эксплуатационных свойств

### *знать*

– разделы физики твердого тела, связанные с механическими свойствами и закономерностями разрушения материалов, достоинства и недостатки технологий модификации материалов, социальные и экологические последствия их применения;

– взаимосвязь между структурой материалов и их свойствами, практические задачи материаловедения, состояние вопроса в избранной области знания;

– разделы молекулярной физики и термодинамики, касающиеся фазовых превращений, диффузии и теплопередачи;

– основные технические решения, касающиеся известных установок для электролитно-плазменной модификации, последовательности операций в технологическом процессе, режимами обработки и составами рабочих электролитов;

### *уметь*

– оценивать значимость факторов, влияющих на избранную функцию отклика, различать признаки патентоспособных способов, устройств и веществ, определять последовательность измерений и анализов для решения задач улучшения свойств материалов с помощью электролитно-плазменной модификации;

– выявлять научную новизну и практическую значимость в опубликованных материалах, оценивать возможность их улучшения и наличие или отсутствие необходимых для этого условий;

– использовать знания современных методов анализа фазового состава и структуры твердых тел, процессов формирования покрытий или методов поверхностной обработки;

– обосновывать изменения фазового состава и структуры модифицируемого материала с позиций физики твердого тела, определять методы воздействия на материал с целью формирования заданной структуры,

### *владеть*

- навыками участия в научных проектах с разделением задач и обязанностей между отдельными исполнителями;
- результатами исследования наноразмерных структур, методами их получения и достигаемыми свойствами;
- разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применения результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- навыками участия в проектировании новых конструкций электролизеров для электролитно-плазменной обработке, последовательности операций при ее реализации, разработке новых составов электролитов;

### **3. Место дисциплины в структуре ОП ВО**

Дисциплина «Современные проблемы электролитно-плазменной обработки» изучается в третьем семестре обязательной части учебного плана подготовки магистров физики. Содержание курса охватывает наиболее развитые методы диффузионного насыщения металлов и сплавов в условиях электролитной плазмы, а именно, азотирование, цементацию, нитроцементацию и борирование.

Перед изучением дисциплины «Современные проблемы электролитно-плазменной обработки» обучающийся должен иметь представления о фазовых превращениях вещества в рамках курса общей физики, уметь использовать соответствующие уравнения математической физики в различных физических моделях. Студенты-магистры должны иметь начальное химическое образование, в том числе представления об электрохимии, освоить применение уравнений реакций для оценки получаемых продуктов. Кроме того, обучающиеся должны быть знакомы с механическими свойствами твердых тел и закономерностями их разрушения. Требуемые знания и умения формируются в рамках обязательной части основной образовательной программы бакалавриата направления подготовки Физика.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для выполнения научно-исследовательской работы, а также для подготовки магистерской диссертации.

### **4. Объем дисциплины (модуля)**

#### **4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы**

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	2
Общая трудоемкость в часах	144
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	32
Лекции	10
Практические занятия	22
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	112
Форма промежуточной аттестации	Экзамен в 3 семестре

#### **4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося**

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	10
Практические занятия	22
Лабораторные занятий	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–

Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	34,35

## 5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

### 5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего з.ед/час	Аудиторные		Самостоят. работа
			Лекции	Практ.	
1	Механизм явления	20	2	4	14
2	Электролитно-плазменная закалка	20	2	4	14
3	Цементация	18	2	4	12
4	Азотирование	18	2	4	12
5	Нитроцементация	17	1	4	12
6	Борирование	15	1	2	12
	Экзамен	36			36
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>144</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>112</b>

### 5.2. Содержание:

**Тема 1. Механизм явления.** Режимы прохождения тока через электролиты. Закономерности образования парогазовой оболочки, ее электрическая проводимость. Теплообмен в системе водный раствор – оболочка – металлический электрод. Электрохимические особенности анодного электролитного нагрева.

**Тема 2. Электролитно-плазменная закалка.** Особенности нагрева и охлаждения в электролитной плазме. Составы электролитов для анодной и катодной закалки. Режимы нагрева на постоянном или импульсном токе. Способы подачи электролита на закаливаемую деталь. Возможности управления толщиной закаленного слоя. Двухступенчатый и трехступенчатый нагрев.

**Тема 3. Цементация.** Специфика диффузионного насыщения в электролитной плазме. Составы электролитов для цементации. Фазовый состав и структура цементованных слоев, микротвердость и шероховатость. Трибологические и коррозионные свойства цементованных покрытий.

**Тема 4. Азотирование.** Азотсодержащие компоненты в электролитах для электролитно-плазменного азотирования. Строение азотированного слоя. Нитрозакалка. Механические и коррозионные свойства и характеристики азотированных металлов и сплавов.

**Тема 5. Нитроцементация.** Закономерности совместной диффузии азота и углерода. Составы электролитов для нитроцементации. Фазовый состав и структура модифицированных материалов. Распределение микротвердости, поверхностная шероховатость. Влияние составов электролитов и режимов обработки на износостойкость и коррозионную стойкость. Методы получения наноструктурных покрытий.

**Тема 6. Борирование.** Составы электролитов для борирования. Фазовые и структурные характеристики борированных слоев, режимы обработки. Твердость

борированного слоя, шероховатость. Механические и коррозионные характеристики модифицированных материалов. Многокомпонентное насыщение металлов и сплавов.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины начинается с краткого рассмотрения физико-химических основ явления с акцентом на состав парогазовой оболочки, которые определяется условиями ее образования. Здесь следует обратить внимание на два основных, но неравноценных процесса: вскипание электролита и электролизное выделение газа. Именно эти процессы лежат в основе образования трехфазной системы электролит – парогазовая оболочка – металлический электрод.

Центральным звеном в системе является оболочка, которая играет роль не только нагревающей, но и насыщающей среды. Теплофизические аспекты явления изучались раньше, в данной дисциплине их достаточно повторить, чтобы обосновать специфику электролитно-плазменной закалки. Следует обратить внимание на причины высоких скоростей нагрева и охлаждения при отключении напряжения, которые определяют условия закалки.

Далее, особое внимание нужно обратить на состав оболочки и процессы, влияющие на ее состав. Это испарение летучих компонентов электролита, химические реакции разложения молекул на более простые составляющие, их адсорбция на поверхность электрода с последующим электроокислением и образованием легких элементов, способных диффундировать в обрабатываемую деталь-электрод.

Центральными темами являются конкретные технологии диффузионного насыщения азотом, углеродом, кислородом и бором, которые рассматриваются примерно в одной и той же последовательности. Сначала изучаются особенности обработки в условиях электролизной плазмы, в том числе, подвод насыщающих компонентов и отвод продуктов реакций, скорость стабилизации температуры и равновесной концентрации адсорбированных молекул на обрабатываемой поверхности. После этого необходимо уделить внимание составам электролитов и требования к их свойствам. К ним относятся достаточно высокая удельная электропроводность, наличие летучих веществ, содержащих насыщающий компонент, отсутствие выделений с высокой температурой возгонки. Самым же важным, при наличии указанных выше свойств, является насыщающий потенциал парогазовой оболочки, то есть максимально возможная концентрация диффузанта в поверхностном слое. Параллельно изучается химический механизм превращений веществ от исходного компонента электролита до образования активных атомов, диффундирующих в обрабатываемое изделие.

Насыщающий потенциал в значительной степени определяет элементный и фазовый состав модифицированного слоя, образующийся в соответствии с диаграммами состояния. Здесь учащиеся должны обосновать наличие соответствующих фаз и найти связь полученной структуры с важнейшими свойствами покрытия, в частности, с распределением микротвердости и поверхностной шероховатостью.

При рассмотрении трибологических свойств следует обратить внимание на условия испытаний, в частности, на твердость контртела, наличие или отсутствие смазки, линейные скорости скольжения и величину нормальной нагрузки. При изучении коррозионных свойств важным аспектом является среда испытаний, а также применяемые методики: потенциодинамические кривые, весовой метод, импедансная спектроскопия и др.

### **6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)**

№	Название темы	Задание	Часы	Форма контроля
---	---------------	---------	------	----------------

1	Механизм явления	Изучение литературы, подготовка доклада	14	Устный опрос, реферат
2	Электролитно-плазменная закалка	Изучение литературы, подготовка доклада	14	Устный опрос, реферат
3	Цементация	Изучение литературы, подготовка доклада	12	Устный опрос, реферат
4	Азотирование	Изучение литературы, подготовка доклада	12	Устный опрос, реферат
5	Нитроцементация	Изучение литературы, подготовка доклада	12	Устный опрос, реферат
6	Борирование	Изучение литературы, подготовка доклада	12	Устный опрос, тест

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

### Семинар 1. Механизм явления.

Обсуждаемые вопросы: законы электролиза, режимы прохождения тока через электролиты. Образование парогазовой оболочки, природа ее электрической проводимости. Электрические разряды и эмиссия анионов из кипящего электролита.

Доклады по тематике семинара.

### Семинар 2. Механизм явления.

Обсуждаемые вопросы: аналогия электролитного нагрева с пленочным кипением, закономерности теплообмена в трехфазной системе. Влияние условий нагрева на тепловые потоки из оболочки в электролит, образец и в атмосферу. Модели расчета температуры образца.

Доклады по тематике семинара.

### Семинар 3. Механизм явления.

Обсуждаемые вопросы: взаимодействие ионов и молекул парогазовой оболочки с кристаллической решеткой обрабатываемого материала. Закономерности анодного растворения сталей, титановых сплавов и других металлов. Окисление стальных и титановых сплавов.

Доклады по тематике семинара.

### Семинар 4. Электролитно-плазменная закалка.

Обсуждаемые вопросы: составы электролитов для закалки, твердость и толщина закаленных слоев, методы управления толщиной закаленного слоя, режимы и физическое обоснование двухступенчатого и трехступенчатого нагрева, особенности импульсного нагрева, термоциклирование, применение перфорированного анода для катодной закалки, распределение твердости по закаливаемой поверхности.

Доклады по тематике семинара.

### Семинар 5. Цементация.

Обсуждаемые вопросы: составы электролитов для цементации, распределение углерода и кислорода в поверхностном слое, фазовый состав диффузионного слоя и его структура. Роль оксидного слоя, структура модифицированного слоя, распределение микротвердости, поверхностная шероховатость. Влияние режимов трибологических испытаний на коэффициент трения.

Доклады по тематике семинара.

### **Семинар 6. Азотирование.**

Обсуждаемые вопросы: азотсодержащие компоненты в электролитах для азотирования, распределение азота и кислорода в поверхностном слое, фазовый состав модифицированного слоя, толщины слоев и их связь с диаграммой состояния железо – азот – углерод, распределение микротвердости в поверхностном слое, влияние среды охлаждения, поверхностная шероховатость, коррозионная стойкость азотированного слоя и методы ее измерения.

Доклады по тематике семинара.

### **Семинар 7. Азотирование.**

Обсуждаемые вопросы: прочность азотированных образцов после нитрозакалки, пластичность азотированного слоя, усталостные свойства среднеуглеродистых сталей после нитрозакалки, распределение остаточных напряжений, износостойкость, структура и фазовый состав нитроцементованного слоя, распределение микротвердости в слое, поверхностная шероховатость.

Доклады по тематике семинара.

### **Семинар 8. Нитроцементация.**

Обсуждаемые вопросы: влияние составов электролитов на коэффициент трения и износостойкость стальных и титановых сплавов, различия катодной и анодной обработки, роль условий трения в процессе трибологических испытаний, импульсная нитроцементация, влияние частоты и коэффициента заполнения на размеры кристаллитов, распределение нанокристаллов по размерам и форме, влияние наноструктурного слоя на коррозионную стойкость нитроцементованных материалов.

Доклады по тематике семинара.

### **Семинар 9. Борирование.**

Обсуждаемые вопросы: составы электролитов для борирования, фазовый состав и структура борированного слоя, распределение микротвердости, поверхностная шероховатость. Износостойкость борированных сталей.

Доклады по тематике семинара.

### **Семинар 10. Борирование.**

Обсуждаемые вопросы: коррозионные свойства борированных сталей, одновременное насыщение бором, азотом, углеродом, кислородом и серой, распределение микротвердости, элементный и фазовый состав модифицированного слоя.

Доклады по тематике семинара.

## **7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **а) основная:**

1. Суминов И. В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Том I/ И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов – М.: Техносфера, 2011. – 464 с.– 5 экз.

[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=88982](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=88982)

2. Электролитно-плазменная модификация металлов учебник / П.Н. Белкин, С.Ю. Шадрин, С.А. Кусманов, И.Г. Дьяков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Костромской государственный университет имени Н. А. Некрасова. - Кострома : КГУ им. Н. А. Некрасова, 2014. - 308 с. : ил., табл., схем. – Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-7591-1475-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275634>

### **б) дополнительная:**

1. Белкин П. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. М: Мир, 2005. – 336 с. – 20 экз.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>
2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Znaniium»

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

### **Аудитория для лекций:**

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

### **Аудитории для практических занятий:**

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips.

Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.

Свободно распространяемое программное обеспечение:

### **Аудитории для самостоятельной работы:**

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.

.

.