

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
Теория электрокристаллизации металлов

**Код модуля**  
1161282(1)

**Модуль**  
Электрохимический синтез металлов и сплавов

**Екатеринбург**

Оценочные материалы составлены автором(ами):

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия, имя, отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Даринцева Анна Борисовна	кандидат химических наук, доцент	Доцент	технологии электрохимических производств

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

С.А. Иванченко

**Авторы:**

- Даринцева Анна Борисовна, Доцент, технологии электрохимических производств

## 1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ Теория электрокристаллизации металлов

1.	Объем дисциплины в зачетных единицах	3	
2.	Виды аудиторных занятий	Лекции Практические/семинарские занятия	
3.	Промежуточная аттестация	Зачет	
4.	Текущая аттестация	Контрольная работа	4

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ Теория электрокристаллизации металлов

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)	Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-1 -Способность осуществлять технологический процесс получения металлов в компактной и порошкообразной форме, выбирать оптимальный режим электролиза, предсказывать свойства готового продукта на основе теоретических положений, проводить расчеты технологических параметров процесс	З-1 - Описывать динамику кристаллизации дендритных осадков металлов с использованием модельных построений З-2 - Соотносить основные закономерности электрокристаллизации металлов в компактной и порошкообразной форме П-1 - Иметь практический опыт разработки технологии получения порошков с заданными свойствами У-1 - Оценивать свойства готовой продукции при нарушении или изменении параметров технологического процесса	Зачет Контрольная работа № 1 Контрольная работа № 2 Контрольная работа № 3 Контрольная работа № 4 Лекции Практические/семинарские занятия

**3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)**

**3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.50</b>		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>контрольная работа</i>	1,18	50
<i>контрольная работа</i>	1,18	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.40</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.60</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.50</b>		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>решение задач</i>	1,18	20
<i>контрольная работа</i>	1,18	40
<i>контрольная работа</i>	1,18	40
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1.00</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – 0.00</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий – не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на онлайн-занятиях	Сроки – семестр,	Максимальная оценка в баллах

	<b>учебная неделя</b>	
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -не предусмотрено</b>		
<b>Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям –нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено</b>		

### 3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

<b>Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено</b>		

## 4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

### Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

<b>Результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам</b>
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

**Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням**

<b>Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)</b>	<b>Шкала оценивания</b>		
		<b>Традиционная характеристика уровня</b>		<b>Качественная характеристика уровня</b>
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)
2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)
3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

## **5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ**

### **5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля**

#### **5.1.1. Лекции**

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

#### **5.1.2. Практические/семинарские занятия**

Примерный перечень тем

1. Критериальные оценки устойчивости плоского фронта роста осадка
2. Замедленная поверхностная диффузия адатомов
3. Расчет плотности тока обмена при кристаллизации без образования зародышей
4. Кристаллизация путем образования зародышей

5. Зарождение и рост зародыша при гальваностатическом электролизе

6. Текстура гальванических осадков

Примерные задания

На практических занятиях студенты решают задачи по темам, пройденным на лекциях.

Задача									
Выяснить, каким образом изменится удельное сопротивление процесса перехода на границе фаз и как это скажется на устойчивости плоского фронта роста осадка. Режим 1: комбинация концентрации $c_1$ , температуры $T_1$ , перемешивания ( $\delta_1$ ), плотности тока $i_1$ ; режим 2: комбинация концентрации $c_2$ , температуры $T_2$ , перемешивание ( $\delta_2$ ), плотности тока $i_1$ . $D(T_1) = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль.									
Номер задачи и варианта	Электролит	Концентрация, моль/д		Температура, °С		Перемешивание, м		Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	
		$c_1$	$c_2$	$T_1$	$T_2$	есть	нет	$i_1$	$i_2$
						$\delta_1$	$\delta_2$		
1.1.1	CuSO <sub>4</sub>	0,80	1,20	35	27	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	7,3	3,5
1.1.2	NiSO <sub>4</sub>	0,70	1,20	50	25	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	5,0	3,5
1.1.3	CoSO <sub>4</sub>	0,40	0,80	55	30	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	6,0	4,0
1.1.4	CdSO <sub>4</sub>	0,50	0,25	50	35	$9 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	3,5	2,0
1.1.5	CdSO <sub>4</sub>	0,45	0,21	28	43	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	4,2	3,5

Задача

Установить, изменится ли и каким образом профиль поверхности осадка при изменении режима электроосаждения металла.

Общие исходные данные. Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль; равновесная концентрация адатомов равна  $10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>; коэффициент поверхностной диффузии при 25 °С составляет  $2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с. Ток обмена приведен в [А/м<sup>2</sup>], ток электролиза – в [А/дм<sup>2</sup>], коэффициент переноса считать равным 0,3 во всех условиях.

Варианты заданий

Номер варианта	$z$	Исходный режим				Новый режим			
		$i_{0,1}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_1$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$\eta_1$ , В	$i_{0,2}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_2$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_2$ , °С	$\eta_2$ , В
2.1.1	$z = 2$	0,10	2,0	35	-0,15	$1,5 \cdot 10^{-3}$	1,0	20	-0,23
2.1.2	$z = 1$	4,00	2,6	45	-0,09	$9,5 \cdot 10^{-3}$	4,0	50	-0,20
2.1.3	$z = 1$	10,00	3,0	30	-0,15	0,1	5,0	25	-0,20
2.1.4	$z = 1$	0,03	3,0	25	-0,35	$9,8 \cdot 10^{-3}$	5,0	25	-0,15
2.1.5	$z = 1$	8,00	2,0	27	-0,09	$1,2 \cdot 10^{-4}$	4,5	48	-0,14

### Задача

Установить, в каком из предложенных случаев вероятнее образование дендритов при заданной плотности тока, если они вырастают из пирамид винтовых дислокаций.

*Общие исходные данные.* Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль; равновесная концентрация адатомов равна  $10^{-6}$  моль/м<sup>3</sup>. Коэффициент поверхностной диффузии при 25 °С составляет  $2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент переноса  $\alpha$  принять равным 0,3 для всех случаев.

Исходные данные для решения

Номер варианта	Исходный режим				Новый режим				
	$i_{0,1}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_1$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$\eta_1$ , В	$i_{0,2}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_2$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_2$ , °С	$\eta_2$ , В	
2.2.1	$z = 2$	3,0000	2,3	25	-0,34	0,0020	4,0	30	-0,28
2.2.2	$z = 1$	0,0020	2,3	60	-0,40	0,2000	4,0	30	-0,25
2.2.3	$z = 1$	0,1500	2,3	40	-0,30	0,0200	4,0	30	-0,35
2.2.4	$z = 1$	0,1500	2,0	40	-0,30	0,2000	4,0	30	-0,25
2.2.5	$z = 2$	0,2000	3,0	30	-0,25	0,0020	6,0	60	-0,40

### Задача

Определить плотность тока обмена непосредственного встраивания по приведенным экспериментальным данным:  $h$  – высота ступени роста; катод-монокристалл с атомно-гладкой поверхностью (грань 100 ГЦК-решетки)

Номер варианта	$\eta$ , мВ	$I$ , мкА	$t$ , °С	$z$	$h$ , мкм	Катод: мм · мм
3.1	3,5	300	65	1	190	20 · 4,0
3.2	3,1	270	58	1	210	22 · 5,0
3.3	3,2	170	61	1	210	22 · 8,0
3.4	2,9	195	57	1	250	22 · 6,0
3.5	3,5	180	59	1	230	22 · 5,0

### Задача. Зародышеобразование на инертной основе

Определить скорость зародышеобразования металла, моль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, если скорость зародышеобразования на свободных местах роста (предэкспоненциальный множитель) составляет  $J_0$ , м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, плотность металла  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, удельная свободная поверхностная энергия равна  $\gamma$ , Дж/м<sup>2</sup>, температура системы  $t$ , °С, перенапряжение кристаллизации  $\eta$ , В. Число Авогадро равно  $6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>, металл-основа инертен по отношению к зародышу.

Номер варианта	Металл	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$M(\text{Me})$ , г/моль	$\gamma$ , Дж/м <sup>2</sup>	$t$ , °С	$\eta$ , В	$J_0$ , м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>
4.1.1	Со	8900	58,9	0,40	30	-0,43	$10^{18}$
4.1.2	Сu	8900	63,5	0,90	40	-0,47	$10^{18}$
4.1.3	Ni	8900	58,7	0,94	48	-0,38	$10^{18}$
4.1.4	Ni	8900	58,7	0,92	42	-0,45	$10^{18}$
4.1.5	Со	8900	58,9	0,94	42	-0,45	$10^{18}$

### Задача

Рассчитать поверхностную концентрацию адатомов и степень заполнения ими поверхности металла с решеткой известного типа по измеренной гальваностатической зависимости  $\eta(t)$ . Поверхность электрода – атомная плоскость  $hkl$ , с постоянной решетки  $a$ , Å. Заданный ток  $I$ , мкА, поверхность электрода с учетом шероховатости  $S$ , см<sup>2</sup>, температура  $t$ , °С, перенапряжение  $\eta$  измерено в [мВ].

Условия проведения эксперимента

Номер варианта	$z$	Тип решетки	$a$ , Å	$t$ , °С	$I$ , мкА	$S$ , см <sup>2</sup>
4.3.1	1	ОЦК	4,2	35	15	7
Измеренные экспериментальные результаты						
$t$ , с	0	3	5	7	9	
$\eta$ , мВ	0	7	12	16	19	

LMS-платформа – не предусмотрена

## 5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.



## Базовый

### 5.2.1. Контрольная работа № 1

#### Примерный перечень тем

#### 1. Замедленная поверхностная диффузия адатомов

#### Примерные задания

Задача 1								
<p>Выяснить, каким образом изменится удельное сопротивление процесса перехода на границе фаз и как это скажется на устойчивости плоского фронта роста осадка. Режим 1: комбинация концентрации <math>c_1</math>, температуры <math>T_1</math>, перемешивания (<math>\delta_1</math>), плотности тока <math>i_1</math>; режим 2: комбинация концентрации <math>c_2</math>, температуры <math>T_2</math>, перемешивание (<math>\delta_2</math>), плотности тока <math>i_1</math>. <math>D(T_1) = 6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}</math>. Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль.</p>								
Электролит	Концентрация, моль/л		Температура, °С		Перемешивание, м		Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	
	$c_1$	$c_2$	$T_1$	$T_2$	нет $\delta_1$	есть $\delta_2$	$i_1$	$i_2$
CdSO <sub>4</sub>	0,5	0,25	40	50	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	3,5	4
Задача 2								
<p>Рассчитать, как изменится удельная электропроводность электролита <math>\kappa</math>, См/м, для двух комбинаций условий электролиза, если известны коэффициенты А (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})</math>) и В (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{л}^{0,5} / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})^{1,5}</math>), связывающие эквивалентную электропроводность электролита <math>\lambda</math> (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})</math>) с его эквивалентной концентрацией <math>c</math> (моль·эquiv/л) в виде <math>\lambda = A - B \cdot c</math> и температурный коэффициент электропроводности <math>\alpha</math>, К<sup>-1</sup>.</p>								
Электролит	Концентрация, моль/л		Температура, °С		А	В	$\alpha$	
	$c_1$	$c_2$	$T_1$	$T_2$				
CoSO <sub>4</sub>	0,4	1,3	60	27	110	35	0,019	
Задача 3								
<p>Оценить, как изменится устойчивость плоского фронта роста и качество осадка при разных сочетаниях концентраций электролита (<math>c</math>), температуры (<math>T</math>), условий циркуляции (<math>\delta</math>) и заданной плотности тока (<math>i</math>). Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль, также известны коэффициенты А (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})</math>) и В (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{л}^{0,5} / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})^{1,5}</math>), связывающие эквивалентную электропроводность электролита <math>\lambda</math> (<math>\text{См} \cdot \text{см}^2 / (\text{моль} \cdot \text{эquiv})</math>) с его эквивалентной концентрацией <math>c</math> (моль·эquiv/л) в виде <math>\lambda = A - B \cdot c</math> и температурный коэффициент электропроводности <math>\alpha</math> (К<sup>-1</sup>) и коэффициент диффузии <math>D</math> (м<sup>2</sup>/с).</p>								
Концентрация, моль/л		Температура, °С		Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>		Циркуляция, м		
$c_1$	$c_2$	$T_1$	$T_2$	$i_1$	$i_2$	$\delta_1$	$\delta_2$	
0,6	0,8	35	50	3,5	2,9	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	
Электролит	$D(T_1)$	$\alpha$		А		В		
Раствор CuSO <sub>4</sub>	$6 \cdot 10^{-10}$	0,019		140		55		

**Задача 4**  
 Установить, изменится ли и каким образом профиль поверхности осадка при изменении режима электроосаждения металла. Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль; равновесная концентрация адатомов равна  $10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>; коэффициент поверхностной диффузии при 25 °С составляет  $2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с. Ток обмена приведен в [А/м<sup>2</sup>], ток электролиза – в [А/дм<sup>2</sup>], коэффициент переноса считать равным 0,3 во всех условиях.

z	Исходный режим				Новый режим			
	$i_{0,1}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_1$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$\eta_1$ , В	$i_{0,2}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_2$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_2$ , °С	$\eta_2$ , В
2	0,1	2	35	-0,15	0,0015	1	20	-0,23

**Задача 5**  
 Установить, в каком из предложенных случаев вероятнее образование дендритов при заданной плотности тока, если они вырастают из пирамид винтовых дислокаций. Энергия активации вязкого потока составляет 20 кДж/моль; равновесная концентрация адатомов равна  $10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>. Коэффициент поверхностной диффузии при 25 °С составляет  $2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент переноса  $\alpha$  принять равным 0,3 для всех случаев.

z	Исходный режим				Новый режим			
	$i_{0,1}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_1$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$\eta_1$ , В	$i_{0,2}$ , А/м <sup>2</sup>	$i_2$ , А/дм <sup>2</sup>	$t_2$ , °С	$\eta_2$ , В
2	3	2,3	40	-0,32	0,002	4	20	-0,23

**Задача 6**  
 Определить плотность тока обмена непосредственного встраивания по приведенным экспериментальным данным: h – высота ступени роста; катод-монокристалл с атомно-гладкой поверхностью (грань 100 ГЦК-решетки).

$\eta$ , мВ	I, мкА	t, °С	z	h, мкм	Катод: мм • мм
3,5	300	65	1	190	20 • 4

LMS-платформа – не предусмотрена

## 5.2.2. Контрольная работа № 2

Примерный перечень тем

1. Кристаллизация путем образования зародышей

Примерные задания

**Задача 1. Зародышеобразование на инертной основе**  
 Определить скорость зародышеобразования металла, моль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, если скорость зародышеобразования на свободных местах роста (предэкспоненциальный множитель) составляет  $J_0$ , м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, плотность металла  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, удельная свободная поверхностная энергия равна  $\gamma$ , Дж/м<sup>2</sup>, температура системы  $t$ , °С, перенапряжение кристаллизации  $\eta$ , В. Число Авогадро равно  $6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>, металл-основа инертен по отношению к зародышу.

Металл	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	M(Ме), г/моль	$\gamma$ , Дж/м <sup>2</sup>	t, °С	- $\eta$ , В	$J_0$ , м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>
Со	8710	58,9	1,85	30	0,43	$10^{18}$

**Задача 2. Зародышеобразование при взаимодействии зародыша с основой**  
 Рассчитать скорость образования зародышей металла на графитовом электроде при постоянном перенапряжении и разных состояниях поверхности электрода.

Ме	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma$ , Дж/м <sup>2</sup>	t, °С	Угол смачивания		- $\eta$ , В	$J_0$ , м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>
				Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>		
Al	2700	0,89	500	30	80	0,326	$10^{18}$

**Задача 3.**  
 Рассчитать поверхностную концентрацию адатомов и степень заполнения ими поверхности металла с решеткой известного типа по измеренной гальваностатической зависимости  $\eta(t)$ . Поверхность электрода – атомная плоскость hkl, с постоянной решетки a, Å. Заданный ток I, мкА, поверхность электрода с учетом шероховатости S, см<sup>2</sup>, температура t, °С, перенапряжение  $\eta$  измерено в [мВ].

Условия проведения эксперимента					
z	Тип решетки	a, Å	t, °С	I, мкА	S, см <sup>2</sup>
1	ОЦК 111	4,2	35	15	7
Измеренные экспериментальные результаты					
t, с	0	3	5	7	9
$\eta$ , мВ	0	7	12	16	19

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.2.3. Контрольная работа № 3

Примерный перечень тем

1. Текстура гальванических осадков

Примерные задания

**Задача 1**  
 Определить тип текстуры осадка металла при температуре  $t$ , °C, плотности тока  $i$ , A/дм<sup>2</sup>, и приведенных ниже кинетических характеристиках осаждения металла, если известна зависимость  $W_{hkl}(\eta)$ .

$z$	$i$ , A/дм <sup>2</sup>	$i_0$ , A/м <sup>2</sup>	$\alpha$	$t$ , °C
2	2,1	65	0,37	40

**Задача 2**  
 Пользуясь диаграммой рисунка, определить область плотностей тока, A/дм<sup>2</sup>, при которых надо осаждать металл с ГЦК-решеткой, чтобы при кинетических данных при его восстановления из выбранного электролита получить осадок с заданной текстурой.

$z$	Текстура	$i_0$ , A/м <sup>2</sup>	$\alpha$	$t$ , °C
2	[111]	0,04	0,28	35

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.2.4. Контрольная работа № 4

Примерный перечень тем

1. Зарождение и рост зародыша при гальваностатическом электролизе

Примерные задания

<b>Задача 1</b>					
Процесс кристаллизации протекает при сферическом характере диффузии ионов осаждающегося металла. Рассчитать радиус зародыша $r$ (мкм). Коэффициент диффузии составляет $D$ , см <sup>2</sup> /с, концентрация ионов в растворе $C$ , моль/л, предельная сферическая плотность тока $i_{пр.сф.}$ , А/дм <sup>2</sup> .					
Металл	$D$ , см <sup>2</sup> /с	$C$ , моль/л	$i_{пр.сф.}$ , А/дм <sup>2</sup>		
Cu	$4,0 \cdot 10^{-4}$	0,2	420		
<b>Задача 2</b>					
Определить радиус зародыша $r$ (мкм) при осаждении металла, если при задании постоянного перенапряжения $\eta$ , перенапряжение на криволинейной поверхности отличается и составляет $\eta_r$ .					
Металл	$\gamma$ , Дж/см <sup>2</sup>	$\eta$ , В	$\eta_r$ , В	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$A$ , г/моль
Cu	1,39	0,6	0,05	8,9	63,5
<b>Задача 3</b>					
Определить радиус зародыша $r$ (мкм) при осаждении металла, если при задании постоянного перенапряжения $\eta$ , перенапряжение на криволинейной поверхности отличается и составляет $\eta_r$ .					
Металл	$\gamma$ , Дж/см <sup>2</sup>	$\eta$ , В	$\eta_r$ , В	$A$ , г/моль	
Cu	1,39	0,6	0,05	63,5	
<b>Задача 4</b>					
Рассчитать адсорбционную емкость, создаваемую адатомами при перенапряжении, равном $\eta_{раб}$ , если при включении постоянной плотности тока $i$ , получили данные изменения.					
Металл	$t$ , °C	$i$ , mA/см <sup>2</sup>	$\eta_{раб}$ , В	$t$ , с	$\eta$ , мВ
Cu	25	1	0,5	1	4

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля

#### 5.3.1. Зачет

Список примерных вопросов

1. Гальваностатический метод исследования зародышеобразования. Форма задаваемого и регистрируемого сигналов. Определение равновесной концентрации адатомов и степени заполнения поверхности адатомами
2. Механизм электрокристаллизации без образования зародышей. Кристаллизация на винтовых дислокациях
3. Кристаллизация с образованием зародышей. Зоны исключения зарождения, причина их появления, метод экспериментального определения размеров зон исключения зарождения.
4. Выравнивание электролитических осадков при электролизе. Экспериментальные данные. Зависимость эффекта выравнивания от концентрации ПАВ в растворе и условий перемешивания. Причины выравнивания. Пути управления выравниванием.
5. Кристаллизация с образованием зародышей. Зоны исключения зарождения, причина их появления, метод экспериментального определения размеров зон исключения зарождения
6. Электрокристаллизация с образованием зародышей. Связь скорости образования трехмерных зародышей с перенапряжением кристаллизации; структуры осадка со скоростью образования зародышей.
7. Устойчивость плоского фронта роста. Термодинамический критерий для электроосаждения металла из разбавленного раствора. Полевой критерий устойчивости. Условие сглаживания энергетически однородной поверхности в процессе электролиза



8. Механизм электрокристаллизации металлов. Электрокристаллизация без образования зародышей. Виды дефектов кристаллизации. Возможные пути встраивания адатомов в кристаллическую решетку

9. Линейная диффузия вблизи ступени роста. Локальная ( $i_x$ ) и линейная ( $i$ ) плотность тока. Глубина проникновения поверхностной диффузии, связь её с морфологическими характеристиками поверхности осадка

10. Механизм электрокристаллизации без образования зародышей. Непосредственное встраивание в места роста. Возможные пути встраивания. Изменение тока обмена непосредственного встраивания на бездислокационной грани серебра

11. Методы исследования зародышеобразования. Потенциостатический метод. Форма задаваемого сигнала. Расчет энергии зародышеобразования

12. Гальваностатический метод исследования зародышеобразования. Форма задаваемого и регистрируемого сигнала. Определение равновесной концентрации адатомов и степени заполнения поверхности адатомами

13. Текстура электролитических осадков. Типы кристаллических решеток, кристаллографические плоскости  $hkl$ , кристаллографические направления. Понятие текстуры, типы текстур. Анализ характеристик текстуры, методы анализа текстуры

14. Текстура зарождения (Пангаров). Связь типа текстуры осадка с величиной перенапряжения. Выравнивание электролитического осадка. Механизм расходования и включения ПАВ в осадок. Расчет скорости расходования ПАВ

LMS-платформа – не предусмотрена

#### **5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности**

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.